

PCT

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION  
International Bureau



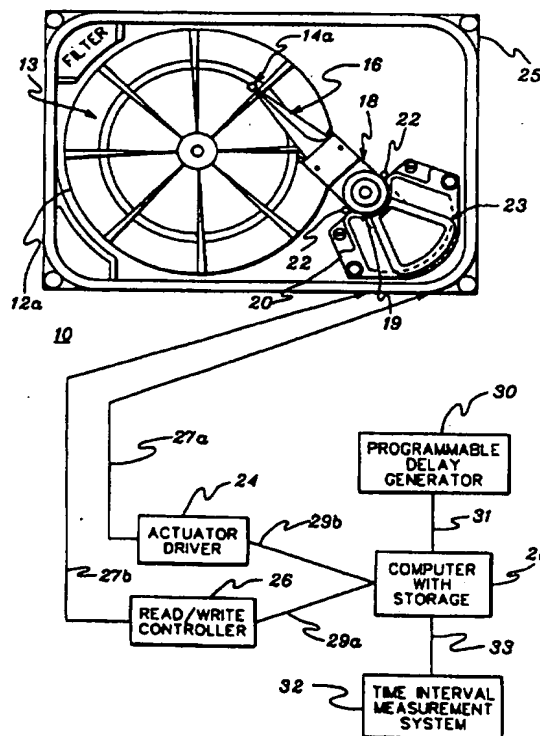
INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(51) International Patent Classification <sup>6</sup> : <b>G11B 5/596</b>		A1	(11) International Publication Number: <b>WO 96/28814</b>
			(43) International Publication Date: 19 September 1996 (19.09.96)
(21) International Application Number: PCT/US95/03126		(81) Designated States: BR, CA, CN, CZ, HU, JP, KP, KR, MX, PL, RO, RU, SG, SK, UA, European patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(22) International Filing Date: 13 March 1995 (13.03.95)			
(71) Applicant: INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION [US/US]; Old Orchard Road, Armonk, NY 10504 (US).		Published With international search report.	
(72) Inventors: CHAINER, Timothy, Joseph; 161 Barrett Hill Road, Mahopac, NY 10541 (US). SOHN, Wayne, Jay; Neve Tsuf, 71945 D.N. Modiin (IL). YARMCHUK, Edward, John; Franklin Drive, Somers, NY 10589 (US).			
(74) Agents: SCHILLER, Blanche, E.; Heslin & Rothenberg, P.C., 5 Columbia Circle, Albany, NY 12203 (US) et al.			

(54) Title: A METHOD AND SYSTEM FOR WRITING A SERVO-PATTERN ON A STORAGE MEDIUM

(57) Abstract

A technique for writing a servo-pattern on a storage medium (12a) located in a recording device (10) having an internal recording head (14a). A timing pattern is generated on the storage medium (12a) with the internal recording head (14a) and a radial positioning value is determined in order to radially position the internal recording head (14a). The servo-pattern is written using the internal recording head (14a) at locations determined by the timing pattern and the radial positioning value.



**FOR THE PURPOSES OF INFORMATION ONLY**

Codes used to identify States party to the PCT on the front pages of pamphlets publishing international applications under the PCT.

AM	Armenia	GB	United Kingdom	MW	Malawi
AT	Austria	GE	Georgia	MX	Mexico
AU	Australia	GN	Guinea	NE	Niger
BB	Barbados	GR	Greece	NL	Netherlands
BE	Belgium	HU	Hungary	NO	Norway
BF	Burkina Faso	IE	Ireland	NZ	New Zealand
BG	Bulgaria	IT	Italy	PL	Poland
BJ	Benin	JP	Japan	PT	Portugal
BR	Brazil	KE	Kenya	RO	Romania
BY	Belarus	KG	Kyrgyzstan	RU	Russian Federation
CA	Canada	KP	Democratic People's Republic of Korea	SD	Sudan
CF	Central African Republic	KR	Republic of Korea	SE	Sweden
CG	Congo	KZ	Kazakhstan	SG	Singapore
CH	Switzerland	LI	Liechtenstein	SI	Slovenia
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SK	Slovakia
CM	Cameroon	LR	Liberia	SN	Senegal
CN	China	LT	Lithuania	SZ	Swaziland
CS	Czechoslovakia	LU	Luxembourg	TD	Chad
CZ	Czech Republic	LV	Latvia	TG	Togo
DE	Germany	MC	Monaco	TJ	Tajikistan
DK	Denmark	MD	Republic of Moldova	TT	Trinidad and Tobago
EE	Estonia	MG	Madagascar	UA	Ukraine
ES	Spain	ML	Mali	UG	Uganda
FI	Finland	MN	Mongolia	US	United States of America
FR	France	MR	Mauritania	UZ	Uzbekistan
GA	Gabon			VN	Viet Nam

-1-

**A METHOD AND SYSTEM FOR WRITING A  
SERVO-PATTERN ON A STORAGE MEDIUM**

**TECHNICAL FIELD**

5 This invention relates in general to recording devices and, in particular, to writing servo-patterns on storage media without using external sensors.

**BACKGROUND ART**

10 Information for systems, such as data processing systems is typically stored on storage media, such as magnetic disks. In manufacturing disks, a disk drive having a number of internal heads is typically mounted in a mastering station referred to as a servo-writer. The servo-writer has sensors positioned outside of the disk drive to locate the radial and circumferential position of at least one of the heads, such that a pattern of magnetic information may be written onto the disk surface coupled to the writing head. The pattern becomes the master reference used by the disk drive during normal operation to locate the tracks and sectors for data storage.

25 The process of servo writing on a station is expensive as each disk drive must be serially mounted in the servo-writer. In addition, the mechanical boundary conditions of the disk are altered as sensors must have access to the actuator and the disk spindle motor. This can require mechanical clamping and disassembly of the file.

30 One process for writing servo information is described in U.S. Patent 4,414,589, entitled

-2-

"Embedded Servo Track Following System and Method for Writing Servo Tracks" issued on November 8, 1983 and assigned to Northern Telecom, Inc. In U.S. Patent 4,414,589, a servo track following system for  
5 positioning a moving read/write head relative to a magnetic storage disk is described. A plurality of servo tracks are recorded in sectors on the disk for identifying radial positions or informational tracks. A clock track is written by writing a single pulse on  
10 a fixed clock track head, phase-lock looping to an intermediate clock track, which is written on a moving head, and then phase-lock looping up to the final clock track, which is written on the fixed clock track head. Radial track density is then  
15 determined by moving a head to a limit stop and writing a reference track. Thereafter, the head is displaced an amount sufficient to reduce the amplitude of the reference track by a predetermined percentage which is related to the ultimate average  
20 track density. Thereafter, another reference track is written and the head is again stepped away from the second reference track an amount sufficient to again reduce the amplitude of the reference track by a predetermined percentage. This is continued until  
25 the disk is filled with reference tracks. If the average track density thus achieved is unsatisfactory, the reduction number is adjusted and the process is repeated.

Another technique for writing servo information  
30 is described in U.S. Patent 4,531,167, entitled "Servowriter System for Magnetic Disk Drives" issued on July 23, 1985 and assigned to Pioneer Research, Inc. In U.S. Patent 4,531,167, before servo tracks are written on a disk, it is first necessary to write

-3-

a master clock track on the disk by a separate head, which serves as a timing reference for the entire operation. Servo bursts are then written on the disk by writing EVEN servo information over the entire surface of the disk. This is achieved by first moving the arm to the outer crash stop and then causing the arm to move radially a distance less than a data track width for each revolution of the disk. Thereafter, the arm is again driven against the outer crash stop and the head is caused to write ODD servo information in a number of sectors of the disk drive. After the arm used in writing the ODD servo information reaches the inner diameter of the disk, a comparison of the number of steps it takes the arm to proceed from the outer crash stop to the inner crash stop is made with the number of tracks actually required on the disk. If the number of actual steps is different from the number of tracks actually required, a particular bias, of an amount determined by the microprocessor, will be introduced so that on the next operation the number of steps will exactly equal the number of tracks required on the disk.

Each of the above procedures requires an external timing sensor in order to write timing patterns used in determining the circumferential position of the heads. Further, since external sensors are needed, a clean room environment is necessary. In addition, in order to determine the track pitch which is later used to write a servo-pattern, an entire disk of information is written. This is time consuming and expensive. Therefore, a need exists for a technique for writing servo-patterns on a disk which does not require a clean room environment. In addition, a need exists for a

-4-

technique for writing servo-patterns such that no external sensors are needed. Yet another need exists for a method for determining which head writes the widest track in a recording device. Also, a need exists for a method for determining the track pitch of a recording device without writing a full disk of information. Further, a need exists for a technique for writing timing information in which an external clock source is eliminated, thus reducing the possibility of error arising from relative motion between the head that is writing the servo-pattern and the clock source.

#### DISCLOSURE OF THE INVENTION

The shortcomings of the prior art are overcome and additional advantages are provided through the provision of a method for writing a servo-pattern on a storage medium located in a recording device having an internal recording head. A timing pattern is generated on the storage medium with the internal recording head and a radial positioning value used in radially positioning the internal recording head is determined. The servo-pattern is written at the locations determined by the generated timing pattern and radial positioning value.

In one embodiment, in order to generate the timing pattern on a storage medium having a plurality of tracks, a plurality of transitions is written on a first of the plurality of tracks, a time interval between each pair of the plurality of transitions is determined, an amount of deviation between each determined time interval and a predetermined nominal interval is determined and a plurality of transitions

-5-

is written on a second of the plurality of tracks.  
Each of a first portion of the plurality of  
transitions is written at a first predetermined timed  
delay and each of a second portion of the plurality  
5 of transitions is written at a second predetermined  
time delay.

In a further embodiment, the track pitch of a  
recording device having a storage medium of N tracks  
is determined. A transition is written on some of  
10 the plurality of N tracks, a read-back signal  
associated with each written transition is obtained,  
and the read-back signals are compared in order to  
determine the track pitch.

In yet another embodiment, a determination is  
15 made as to which of a plurality of recording heads in  
a recording device writes the widest. A first  
transition is written with each of the plurality of  
recording heads and a second transition is written  
with one of the plurality of recording heads. The  
20 second transition is written at a predetermined  
distance from the first transition written with the  
same recording head as the second transition. Each  
of the recording heads is positioned using the second  
transition and an amplitude signal associated with  
25 each of the first transitions is read and compared  
with the positioned recording heads. From the  
comparison, the recording head which writes the  
widest is determined.

In another embodiment, a timing pattern is  
30 generated on one of a plurality of storage media  
located in a recording device having a plurality of  
internal recording heads. Each of the plurality of

-6-

storage media has at least one of the plurality of internal recording heads associated therewith. A first plurality of transitions representative of a timing pattern is written with a first of the plurality of internal recording heads. The first and second of the plurality of internal recording heads is positioned. The first plurality of transitions is read with the first positioned recording head and a second plurality of transitions is written with the second positioned head. The first and second recording heads are repositioned and the second plurality of transitions is read with the repositioned second recording head and a third plurality of transitions is written with the repositioned first recording head.

In a further aspect of the invention, a system for writing a servo-pattern on a storage medium located in a recording device is provided. The system includes means for generating a timing pattern on the storage medium with the internal recording head, means for determining a radial positioning value used for radially positioning the internal recording head, and means for writing a servo-pattern on the storage medium with the internal recording head. The servo-pattern is written at locations determined by the timing pattern and the radial positioning value.

In another aspect of the invention, a recording device is provided. The recording device includes a storage medium located within the recording device and an internal recording head within the recording device for writing timing information and servo-

-7-

patterns on the storage medium. In one embodiment, the recording device is sealed.

The technique of the present invention enables servo-patterns to be written on a storage media without the need for external sensors or a clean room environment. In addition, a technique is provided for determining the track pitch of a recording device without requiring the writing of a full disk of information. Further, a timing pattern is written without the need for an external clock source. The techniques of the present invention enable timing information and servo-patterns to be written easily and more accurately than before.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

The subject matter which is regarded as the invention is particularly pointed out and distinctly claimed in the claims at the conclusion of the specification. The foregoing and other objects, features, and advantages of the invention will be apparent from the following detailed description taken in conjunction with the accompanying drawings in which:

FIG. 1a depicts one example of a disk drive incorporating the servo-pattern writing technique of the present invention;

FIG. 1b depicts one example of a side view of a disk drive having a plurality of recording disks, in accordance with the principles of the present invention;

-8-

FIG. 2 depicts one example of the logic associated with the servo-pattern writing technique of the present invention;

5       FIG. 3 depicts one example of the logic associated with a technique for determining the head which writes the widest track, in accordance with the principles of the present invention;

10       FIG. 4 illustrates one embodiment of a disk surface divided into N circumferential pie sections, in accordance with the principles of the present invention;

15       FIG. 5 depicts one example of a plot of signal amplitude versus off-track position of a recording head, in accordance with the principles of the present invention;

20       FIG. 6 depicts one embodiment of the logic associated with a technique for determining track pitch, in accordance with the principles of the present invention;

25       FIG. 7 illustrates one embodiment of a disk surface divided into N circumferential pie sections with four bursts written in one section, in accordance with the principles of the present invention;

FIG. 8 depicts one example of a plot showing a read-back signal amplitude versus the radial position of a recording head in

-9-

which a correct track pitch is present, in accordance with the principles of the present invention;

5           FIG. 9 depicts one example of a plot showing read-back signal amplitude versus the radial position of a recording head in which an incorrect track pitch is present, in accordance with the principles of the present invention;

10           FIG. 10 depicts one embodiment of the logic associated with writing a timing pattern on a disk positioned within the disk drive of FIG. 1, in accordance with the principles of the present invention;

15           FIG. 11 depicts one example of a plot of the non-repeatable velocity jitter spectral density for a disk drive;

20           FIG. 12 depicts one example of a plot of the jitter versus time interval for the disk drive of FIG. 11;

            FIG. 13 depicts one example of a plot depicting rms jitter versus step number, in accordance with the principles of the present invention;

25           FIG. 14a illustrates a radial timing mark trajectory in which no fraction is added to a nominal time interval in the generation of even numbered transitions from odd numbered

-10-

transitions, in accordance with the principles of the present invention;

5        FIG. 14b illustrates a radial timing mark trajectory in which a fraction of 1 is added to a nominal time interval in the generation of even numbered transitions from odd numbered transitions, in accordance with the principles of the present invention;

10       FIG. 14c illustrates a radial timing mark trajectory in which a fraction of  $\frac{1}{2}$  is added to a nominal time interval in the generation of even numbered transitions from odd numbered transitions, in accordance with the principles of the present invention;

15       FIG. 15 depicts one example of a plot illustrating error in placement along a radial timing mark versus step number, in accordance with the principles of the present invention;

20       FIG. 16 depicts one example of the logic associated with writing a servo-pattern on one disk surface, in accordance with the principles of the present invention;

25       FIG. 17 depicts one example of the logic associated with propagating the servo-pattern of FIG. 16 to other disk surfaces, in accordance with the principles of the present invention; and

FIG. 18 depicts one embodiment of the logic associated with writing timing information on a

-11-

disk surface using two heads, in accordance with the principles of the present invention.

**BEST MODE FOR CARRYING OUT THE INVENTION**

In accordance with the principles of the present invention, a method and apparatus for writing a servo-pattern on a storage medium is provided. In one embodiment, a servo-pattern is written on one or more magnetic disks located in a recording device, such as a disk drive. Referring to FIGS. 1a and 1b, in one example, a disk drive 10 includes one or more magnetic disks 12a-12b (collectively referred to as magnetic disks 12), one or more internal recording heads 14a-14d (collectively referred to as recording heads 14), a suspension mechanism 16, an actuator 18, an actuator attachment 20, one or more crash stops 22, an actuator driver 24, a read/write controller 26, a computer 28, a programmable delay generator 30 and a time interval measurement system 32. Each of these components is described in detail below.

Each magnetic disk has, for instance, two surfaces which are capable of receiving information and each surface has a plurality of tracks 13. In accordance with the principles of the present invention, information, such as timing information and servo-patterns, is written on the surfaces of one or more of magnetic disks 12 by using internal recording heads 14. A spindle motor 5 (FIG. 1b) is located in the inner diameter of disks 12 and is used, as is known in the art, to spin magnetic disks 12. As depicted in FIG. 1a, recording heads 14 are attached to suspension mechanism 16.

-12-

Suspension mechanism 16 allows the recording heads to move in a vertical direction and is connected to actuator 18. Actuator 18 is, for example, a standard moving coil actuator which includes a ball bearing 19 connected to a voice coil motor 23. As shown in FIG. 1b, motor 23 includes one or more magnets 21. On each side of ball bearing 19 is a crash stop 22 which is used to limit the motion range of the actuator. Actuator 18 is mounted to a base plate 25 via actuator attachment 20. In one example, actuator attachment 20 attaches the actuator to the base plate via one or more screws.

Actuator driver 24, which is coupled to base plate 25 via a wire 27a, includes electronic circuits, such as power transistors, for providing current to voice coil motor 23.

Also coupled to base plate 25 via a wire 27b is read/write controller 26, which is used for reading and writing magnetic transitions on the disks, as described below in accordance with the principles of the present invention.

Coupled to read/write controller 26 and actuator driver 24 via buses 29a and 29b, respectively, is computer 28. Computer 28 includes, for instance, a standard personal computer which has storage for saving information.

Coupled to computer 28 via an IEEE bus 31 is programmable delay generator 30. Programmable delay generator 30 is, for instance, a Hewlett Packard HP8118A and is used to control the time at which a

-13-

given transition is written, as described in further detail below.

Also coupled to computer 28 via an IEEE bus 33 is time interval measurement system 32 which is used, in accordance with the principles of the present invention, to measure required time intervals. In one embodiment, time interval measurement system 32 includes an HP5372A time analyzer offered by Hewlett Packard.

10 It will be apparent to one of ordinary skill in the art that there may be many variations to the disk drive depicted in FIGS. 1a and 1b. For instance, a disk drive may have only one magnetic disk or only one recording head.

15 In accordance with the principles of the present invention, disk drive 10 is used to write a servo-pattern on one or more of magnetic disks 12. The servo-pattern is written at specific locations on one or more disk surfaces and, therefore, before the  
20 servo-pattern is written, radial positioning information and circumferential positioning information ( $\theta$ ) are determined for the recording head used in writing the servo-pattern. One example of a technique used in writing servo-patterns is described  
25 in detail below.

Referring to FIG. 2, in one embodiment, a determination is made as to which recording head of disk drive 10 writes the widest track, STEP 50 "FIND THE WIDEST HEAD." In this embodiment, the head that  
30 writes the widest track is the desired head used for writing the timing pattern and the servo-pattern, as

-14-

described in detail below. If there is only one recording head, then that head is the one that writes the widest track. The manner in which the widest head is determined is described in detail with  
5 reference to FIG. 3.

Referring to FIG. 3, in accordance with the principles of the present invention, in order to determine which of the recording heads of a disk drive or other recording device writes the widest  
10 track, each of the disk surfaces located within the disk drive are divided into a number, N, circumferential pie sections, STEP 52 "DIVIDE EACH DISK SURFACE INTO N CIRCUMFERENTIAL PIE SECTIONS."  
In one example, N is set equal to sixteen and,  
15 therefore, the disk surface is divided into sixteen circumferential pie sections as shown in FIG. 4. As is known in the art, in order to divide a disk surface, an index is used to identify the first sector. Thereafter, any number of sectors can be  
20 defined by writing patterns at a predetermined distance apart from one another.

Referring to FIGS. 3 and 4, subsequent to dividing each surface into N sectors, every other sector is labeled the A sector and the remaining  
25 sectors are labeled B sectors, STEP 54 "LABEL EVERY OTHER SECTOR "A" AND THE REMAINING SECTORS "B"."  
Thereafter, while holding actuator 18 against crash stop 22, each recording head 14 is used to write amplitude bursts (i.e., one or more magnetic  
30 transitions) on a respective disk surface. In particular, in accordance with the principles of the present invention, amplitude bursts are written in each of the "A" sectors of the first track of a disk

-15-

surface, STEP 56 "WRITE AMPLITUDE BURSTS WITH ALL HEADS IN "A" SECTORS OF TRACK #1."

Subsequent to writing the bursts of information, actuator 18 is moved a predetermined distance, STEP 58 "MOVE ACTUATOR A PREDETERMINED AMOUNT." In one embodiment, the predetermined distance is based on the signal amplitude of the recording head, such as head 14a, versus the off-track position of the head. One example of the approximate linear relationship between amplitude and off-track position is depicted in FIG. 5. As shown in FIG. 5, when the amplitude is at its maximum value, the recording head is directly on the track (i.e., 30 microns) and when the recording head is at half its maximum amplitude (i.e., approximately .5), the recording head is approximately half off of the track (i.e., 15 microns). In one instance, the actuator is moved until the read-back signal from head 14a is equal to half of its maximum amplitude (i.e., half off the track). While servoing at the half amplitude position which is accomplished by sampling the rectified head signal, amplitude bursts are written with head 14a in the B sectors on the second track of the disk surface corresponding to head 14a, STEP 60 "WRITE AMPLITUDE BURSTS WITH HEAD 1 IN "B" SECTORS OF TRACK #2."

By moving radially off of the second track, the "B" bursts can be used to provide position information. For instance, the head can be gated to read the signal from the magnetic transitions corresponding to the "B" bursts during specific intervals (amplitude bursts). Using a sample and hold circuit, the voltage corresponding to the

-16-

amplitude of the read-back signal is held constant in the intervals between bursts. This makes a suitable position signal input to the servo-loop to position the actuator. In one embodiment, when servoing to a given amplitude of the read-back signal, a servo-control loop with a low bandwidth is used. Then, the head position is an average of all the sector bursts, rather than following the repeatable variations of the magnetic servo-signal. Using the amplitude of the "B" burst as the position signal for the servo system (i.e., servo-on), the amplitude signals from the "A" bursts under all of the recording heads of the disk drive are read and compared, STEP 62 "COMPARE SIGNALS FROM "A" BURSTS." In one example, the signals from the "A" bursts are read and compared using a standard measurement tool, such as a voltmeter or a digital oscilloscope. At the point where the signal is lost from all of the heads except one, that head is determined to be the one that writes/reads the widest track.

Although the example described above uses a plurality of "A" and "B" bursts, it is possible to use only one "A" burst and one "B" burst.

Referring back to FIG. 2, in one embodiment, after the head that writes the widest track, hereinafter denoted head W, is determined, it is used in accordance with the principles of the present invention to determine the track pitch of the disk drive, STEP 64 "FIND THE TRACK PITCH."

Referring to FIGS. 6 and 7, in one embodiment, in order to determine the track pitch of the disk drive, the disk surface corresponding to head W is

-17-

divided into a number, N, of circumferential pie sections, STEP 70 "DIVIDE DISK SURFACE". As shown in FIG. 7, in one example, the disk surface is divided into sixteen sections 68 and each section 68 has a plurality of tracks 71. Typically, a disk surface has a track density of approximately 4000 tracks per inch (i.e., 2000 data tracks wherein a data track is twice as wide as a track and one data track does not overlap another data track).

10 Referring again to FIG. 6, subsequent to dividing the disk surface, actuator 18 is held against the crash stop and amplitude bursts, referred to as "A" bursts, are written on the first track of each section with head W, STEP 72 "WRITE "A" BURSTS  
15 ON TRACK #1 WITH HEAD W" (see FIG. 7). (In another embodiment, it is possible to write the "A" bursts on the first track with a head other than the head that writes the widest track. In addition, it is possible to write the bursts on a track other than the first  
20 track.) Subsequent to writing the amplitude bursts, actuator 18 is moved a predetermined distance such that for instance, the amplitude from the head that writes the widest track is at half of the maximum amplitude or at an amplitude which is a best guess to  
25 provide proper spacing between tracks, STEP 74 "POSITION ACTUATOR."

Subsequent to positioning the actuator, the actuator is held at that position and "B" bursts are written on the second track of each section, STEP 76  
30 "WRITE "B" BURSTS WITH HEAD W ON TRACK #2." Similarly, by servoing-on the "B" bursts, "C" bursts are written on the third track of each section, STEP 78 "WRITE "C" BURSTS WITH HEAD W ON TRACK #3" and by

-18-

servoing-on the "C" bursts, "D" bursts are written on the fourth track of each section, STEP 80 "WRITE "D" BURSTS WITH HEAD W ON TRACK #4."

Subsequent to writing the four bursts (A,B,C, and D bursts) on the tracks with the head that writes the widest track, the track pitch can be determined by comparing the read-back signals from each of the bursts, STEP 82 "COMPARE READ-BACK SIGNALS FROM BURSTS A, B, C, D." If the track pitch is at a desired level, then when head W is centered over the second track, the read-back signal from the "B" burst is the maximum value and there is no amplitude signal from the fourth track. That is, if the track pitch is equal to the head width, then the amplitude from the "D" burst is below a threshold set to be near zero, such as -40dB below the on-track amplitude. Further, the signal from both the "A" and "C" bursts are equal to the amplitude which was servoed to when the second track was written. An example of the above is shown in FIG. 8 in which at reference numeral 83, the amplitude of the "B" burst is maximum, the amplitude of the "D" burst is near zero and the amplitude of bursts "A" and "C" are equal.

If the track pitch is correct, INQUIRY 84 "IS TRACK PITCH CORRECT?", then the process has ended and the value of the amplitude from burst "A" that was servoed to when burst "B" was written, referred to as Q1, is used, as described below, to write the servo-pattern, STEP 85 "END". However, if the read-back signals are as shown in FIG. 9, then the track pitch is too high and a new amplitude for the "A" bursts is determined, as described below, STEP 86 "FIND NEW AMPLITUDE FOR "A" BURSTS".

-19-

In particular, referring to FIG. 9, Q1 denotes the amplitude from burst A that was servoed to when burst "B" was written. At that position (R1), the signal from burst "D" is still not near zero. By  
5 servoing to a new position, R2, where the signal from burst "A" is equal to Q2, the signal from burst "D" drops to a predefined threshold near zero. At this position, the signal from burst "C" is equal to Q3. Therefore, it follows that whenever the track pitch  
10 is too high, then  $Q2 > Q1 > Q3$ . Similarly, if the track pitch is too low, then  $Q2 < Q1 < Q3$ .

As mentioned above if the track pitch is incorrect, then a new amplitude,  $Q1_{\text{new}}$ , for the "A" bursts is determined. In one embodiment, in order to  
15 determine a new amplitude for the "A" burst, the following equation may be used, if the read-back signal is linear in the region where the amplitude is Q1:

$$Q1_{\text{new}} = \frac{1}{2} (Q3 + Q1_{\text{old}}).$$

20 Referring back to FIG. 6, subsequent to finding  $Q1_{\text{new}}$ , flow passes to STEP 72 "WRITE "A" BURSTS ON TRACK #1 WITH HEAD W." ( $Q1$  or  $Q1_{\text{new}}$  is referred to herein as the radial positioning value.) After the "A" bursts are written, the actuator is positioned so  
25 that the amplitude from the head that writes the widest track is at a value equal to  $Q1_{\text{new}}$ , STEP 74 "POSITION ACTUATOR". At this position, the "B" bursts are written with the head that writes the widest track on the second track. Thereafter, flow  
30 continues as described previously.

In another embodiment, the value of  $Q1$  or  $Q1_{\text{new}}$  is updated every preselected number of tracks, even

-20-

though the value of  $Q1$  or  $Q1_{on}$  is nominally constant for all tracks.

As described further below, the value of  $Q1$  or  $Q1_{on}$ , which represents a ratio of on-track amplitude, is used to write the servo-pattern. However, referring back to FIG. 2, before the servo-pattern is written, timing marks are generated which indicate circumferentially where the pattern is to be placed, STEP 90 "GENERATE TIMING MARKS." In one example, the timing pattern is comprised of a set of equally spaced radial timing marks of magnetic transitions which are produced in accordance with the principles of the present invention. The timing pattern, as well as the servo-pattern described below, are capable of being written with internal recording heads in a sealed and closed disk drive. No external sensors are needed.

Referring to FIG. 10, one technique for writing a timing pattern on disk 12 is described in detail. In one embodiment, the internal recording head used to write the timing pattern is the head that writes the widest track. Initially, head W is placed against a delimiter (i.e., crash stop 22) at the innermost track location of the disk associated with head W, hereinafter referred to a disk W, STEP 92 "PLACE HEAD AGAINST DELIMITER." With the head at this location, a series of transitions or a series of bursts of transitions (e.g., magnetic transitions) are written on the disk surface at equal time intervals spanning one complete revolution of the disk, STEP 94 "WRITE TRANSITIONS ON TRACK #1 OF DISK." In one example, the disk is rotating at 60 rpm and a time interval of 92.56 microseconds is

-21-

chosen such that 180 bursts of transitions are written on one track of disk W. These 180 bursts of transitions can be thought of as pairs of transitions, wherein each pair includes an odd  
5 numbered transition and an even numbered transition, respectively. For instance, one pair of bursts of transitions includes bursts 1 and 2. Another pair includes bursts 3 and 4, etc.

Subsequent to writing the transitions and, in  
10 particular, on the next revolution of disk W, the time interval between each odd and even numbered bursts of transitions (1-2, 3-4, etc.) is measured, STEP 96 "MEASURE TIME INTERVALS BETWEEN ODD AND EVEN  
15 NUMBERED TRANSITIONS." In one embodiment, in order to measure the time intervals, time interval measurement system 32 is used. After each of the time intervals is measured, the deviation of each time interval from the nominal interval, e.g., 92.56  
20 microseconds, is determined by using computer 28. In particular, computer 28 subtracts each time interval from the nominal interval in order to obtain the deviations, which are then stored within storage of computer 28, STEP 98 "STORE DEVIATION OF EACH TIME  
INTERVAL FROM NOMINAL INTERVAL."

25 In one embodiment, a special nominal value is determined for the time interval between transition 180 and transition 1, STEP 100 "MEASURE INTERVAL BETWEEN LAST AND FIRST TRANSITION." This special  
30 nominal interval is created since transition 180 and transition 1 deviate from the nominal interval of 92.56 microseconds by a relatively large amount (i.e., microseconds rather than several nanoseconds). This is due to the fact that transitions 180 and 1

-22-

are written 16.67 milliseconds apart rather than 92.56 microseconds apart. After the special nominal value is determined, it is stored in the computer storage for use as the interval between transition 5 180 and transition 1, STEP 102 "STORE INTERVAL AS A SPECIAL NOMINAL VALUE."

Subsequent to writing the bursts of transitions (or in another embodiment, the series of transitions) on one track and determining and storing the 10 deviations, head W is moved radially off of the first track by a predetermined value, STEP 104 "MOVE HEAD BY A PREDETERMINED VALUE." In one embodiment, the predetermined value is equal to approximately one-half of a track. After moving the head approximately 15 one-half of a track, a new set of even numbered transitions is written by head W using the existing odd numbered transitions as trigger points, STEP 106 "WRITE INFORMATION ON NEXT TRACK USING ODD NUMBERED TRANSITIONS." The time at which a given even 20 numbered transition is written is controlled by programmable delay generator 30 (FIG. 1), which is set equal to the nominal interval plus a fraction, such as one-half, of the stored measured deviation for this pair of transitions. Subsequent to writing 25 the even numbered transitions, a new set of odd numbered transitions are generated, using the even numbered transitions as trigger points, STEP 108 "WRITE INFORMATION ON NEXT TRACK USING EVEN NUMBERED TRANSITIONS." Similar to writing the even numbered 30 transitions, a given odd numbered transition is written at a time controlled by the programmable delay generator. In this case, the delay generator for a given transition pair is set equal to the nominal interval for that pair. In addition to the

-23-

above, transition 1 is generated from transition 180 and written on the second track. In this case, the programmable delay generator is set to the special nominal value, calculated as described above, plus  
5 one-half of the measured deviation located in storage for this pair of transitions. This deviation is zero for the second track, but not for subsequent tracks.

After the even and odd numbered transitions are written, the time interval for each pair of odd-even  
10 transitions is measured and each deviation from the nominal time interval (or special nominal interval) is stored within the storage located in computer 28, STEP 110 "MEASURE INTERVALS AND STORE DEVIATIONS."

Thereafter, a determination is made as to  
15 whether there are more tracks on the disk to receive timing information, INQUIRY 112 "MORE TRACKS?" Should there be no more tracks on the disk to receive timing information, then the process for placing a timing pattern on a disk surface is complete, STEP  
20 114 "END." However, if the timing pattern is to be written on additional tracks of the disk, then flow returns to STEP 104 "MOVE HEAD BY A PREDETERMINED VALUE," and the process is repeated.

Using the above-described process, equally  
25 spaced radial timing marks are provided, which are available for use as trigger points for the generation of a servo-pattern. In one example, the servo-pattern information is written in the regions between the radial timing marks. After the servo-  
30 pattern is written, the radial timing marks may be erased. In addition, it is possible to write the servo-pattern without using every radial timing mark.

-24-

In accordance with the principles of the present invention, it is desirable to begin the servo-pattern as soon as possible after a radial timing mark in order to minimize timing jitter. The minimum possible time is given by the time required to switch the head from reading to writing, which is typically less than 1 microsecond. Timing jitter between recorded transitions can arise from rotation speed variations, vibrations of the recording head, electronics noise and media noise. (Media noise is typically less than one nanosecond rms for good media and can be ignored in the context of servo-writing). The detailed behavior of jitter depends on the particular mechanical design of a disk, as well as the quality of the disk speed control. As an indication of the magnitude and spectrum of the jitter expected for typical low-end disk drives, the performance of a Hardcard disk drive was measured. An HP5372A time analyzer was used to capture a continuous sequence of 4096 time intervals for a 10 KHz recorded pattern. An inverse of each of the time intervals was taken in order to obtain a record of velocity versus time. Thereafter, the data was organized into individual revolutions and averaged to obtain the repeatable part of the fluctuations. The repeatable part of the fluctuations was subtracted from the data and the non-repeatable velocity fluctuations were obtained by taking a Fourier transform. The non-repeatable velocity jitter spectral density for the Hardcard is depicted in FIG. 11. As shown in the graph, most of the fluctuations occur at fairly low frequencies and are probably due to motor speed variation. Several sharp peaks are observed at higher frequencies (1900 and 2800 Hz) and

-25-

are either suspension resonances or ball bearing defects.

Since most of the velocity fluctuation occurs at frequencies below about 30 Hz, the time interval jitter scales linearly with the time interval for times shorter than about 30 milliseconds. This linear relationship is depicted in FIG. 12, which depicts a plot of the rms jitter in nanoseconds versus the time interval in milliseconds obtained by summing groups of intervals in the long sequence record and computing the rms fluctuation of the longer intervals. As one example, for an interval of 92.56 microseconds, the jitter is found to be 4.9 nanoseconds rms. This value is somewhat higher than the linear projection due to electronics noise which, for this particular disk drive, limits the ultimate jitter at zero interval to about 3 nanoseconds. The data generated from the above experiment, demonstrates that servo-pattern information, such as servo-field gray codes or phase bursts, can be lined up within a few nanoseconds by triggering off perfect radial timing mark patterns.

In any self-propagating pattern scheme, this same minimum error applies to every cycle of the process. In general, such processes constitute "random walks" in which the net error grows as the square root of the number of cycles. For a process involving 2000 cycles and an error of 4.9 nanoseconds per cycle, the pattern error will be 219 nanoseconds. Since a typical magnetic pattern period in the gray code or phase burst is about 200 nanoseconds, this error would be totally unacceptable. Using the above-described procedure for writing timing

-26-

patterns, in accordance to the principles of the present invention, the pattern error along each radial timing mark is equal to about twice the minimum error per cycle, regardless of the number of cycles. (Errors in the absolute location of the radial timing marks do depend on the number of cycles, but the growth is only as the fourth root. These errors do not affect gray code or phase burst placement.) Thus, a 4.9 nanosecond error per cycle would yield about 10 nanoseconds of pattern error, which is only 5% of the magnetic pattern period, an insignificant amount. In addition to the above, a potential improvement in pattern accuracy is provided over existing methods of servo-writing in which timing is provided by a separate clock head or rotation encoder. In such systems, relative physical motion between the clock source and the writing head will result in timing errors. This motion can arise from vibrations of the structures holding the heads or from non-repeatable runout in the spindle. A 3.7 microinch relative motion results in a timing error of 10 nanoseconds for a head at a one inch radius on a disk spinning at 3600 RPM.

As described previously, in writing a timing pattern, in accordance with the principles of the present invention, a timing delay of a predetermined value is used. In one example, the predetermined value is equal to the nominal value plus a fraction, referred to as  $F$ , of the measured deviation. In one preferred embodiment the fraction is one-half, based on the comparison of the following three cases:

$$F = 0; F = 0.5; \text{ and } F = 1.$$

-27-

Depicted in FIG. 13 is a plot of the rms jitter in the locations of the 180 radial lines around a track versus step number for the three above-mentioned cases. As shown in FIG. 13, there are, for instance, 1000 steps and each step corresponds to a half track. The data depicted in the plot are averages over eight different Monte Carlo runs. (Monte Carlo techniques are computer simulations used for evaluating processes governed by random events and are known to those skilled in the relevant art.) The initial track (e.g., track number one) is generated with errors selected from a Gaussian distribution having a standard deviation of 4.9 nanoseconds to correspond to the measured Hardcard jitter at 92.56 microsecond intervals. The generation of new even numbered transitions involves the addition of errors with a standard deviation of

$$4.9 \times \sqrt{1 + F^2}$$

nanoseconds to account for the additional contribution from the measurement process. The generation of odd numbered transitions from even numbered transitions uses 4.9 nanosecond errors. It can be seen from this log-log plot that distinctly different power laws govern the propagation of errors for  $F = 0$  or  $1$  and  $F = 0.5$ .

For the case of  $F = 0$ , there are distinct propagation paths consisting of totally independent random walks that spiral out by moving over two lines azimuthally for each step out (see FIG. 14a). The rms error grows as the square root of the number of steps for such a process. For  $F = 1$ , the errors propagate along independent radial paths and, once

-28-

again, grow as the square root of the number of steps (FIG. 14b). For  $F = 0.5$ , however, the errors are continuously mixed between the spiral and radial paths (FIG. 14c), resulting in a qualitatively different type of random walk which grows as the fourth root of the number of steps. In FIGS. 14a-14c, the maximum radius corresponds to 200 steps and the angular deviations have been expanded by a factor of 200 to make them visible.

10           Timing errors along radial timing marks directly affect the placement of adjacent gray code transitions or phase bursts and, if large enough, will degrade the read-back amplitude of the radial timing marks themselves. Qualitatively, this type of error shows up as a jaggedness of individual lines as depicted in FIGS. 14a-14c. It can be seen that when  $F = 0$ , much larger errors of this type result than when either of the approaches that make use of error measurement and correction (e.g.,  $F = 1$  and  $F = 0.5$ ). This is shown quantitatively in FIG. 15 in which the rms error of placement between adjacent steps along a radial timing mark is plotted versus step number. As before, these are averages over eight different runs. For  $F = 0$ , the spiral propagation paths result in step to step errors which are even greater than the absolute location errors around a track. For both  $F = 1$  and  $F = 0.5$ , the step to step errors are constant (independent of the number of steps) and about equal to twice the basic interval noise of 4.9 nanoseconds.

30           It should be noted that the overall timing pattern errors are directly proportional to the jitter in the base interval which is used. This can be reduced significantly by improving the motor speed

-29-

control and by using better read-back signal conditioning. It may also be possible to further reduce the electronic component of the jitter by using bursts of transitions rather than isolated transitions for the radial timing mark pattern. Reduction of the electronics contribution would provide extra improvement by allowing even shorter base intervals between radial timing marks.

The total amount of time required for generating the radial timing mark pattern, in accordance with the principles of the present invention, is estimated to be about two minutes for a pattern consisting of 1000 tracks (2000 steps). This is based on the assumption that each propagation step takes four revolutions to perform; one revolution each for half track head movements, writing even numbered transitions, writing odd numbered transitions, and measuring the odd to even intervals.

It will be apparent to those skilled in the relevant art that a number of variations of the above-described procedure are possible without departing from the spirit of the invention. As one example, an error correction (i.e., the fraction of the measured deviation) other than one-half may be used. As another possibility, a partial error correction in the generation of the odd numbered transitions from the even numbered transitions may be used. During experimentation, this was found to have no effect on the absolute location errors around a track, but does slightly reduce the step to step placement error along the lines.

-30-

Described above is a technique for writing clock track information on a surface of a disk using an internal recording head of the disk drive. Referring back to FIG. 2, subsequent to generating the timing pattern, the servo-pattern is written, STEP 120  
5 "WRITE SERVO-PATTERN ON ONE SURFACE."

Referring to FIG. 16, one technique for writing a servo-pattern using the head that writes the widest track and a fraction of on-track amplitude (i.e.,  $Q1$  or  $Q1_{new}$ ) which provides radial positioning of that  
10 head, is described in detail. In particular, the head that writes the widest track; head W, is returned to the crash stop at the innermost track of the disk surface associated with head W (i.e.,  
15 surface W), STEP 122 "MOVE HEAD TO DELIMITER."

At this location, an amplitude burst "A" is written, STEP 124 "WRITE BURST "A"." Triggered on every third timing mark (such as timing mark 1, 4, 7, etc.) an amplitude burst "A" is written with a  
20 nominal delay of thirty (30) microseconds and a width of ten (10) microseconds. That is, amplitude burst "A" is written 30 microseconds after the timing mark and for a duration of 10 microseconds. It will be apparent to those of ordinary skill in the art that a  
25 burst can be written on every timing mark or at any other desired interval and that every third timing mark is only one example.

Subsequent to writing the "A" bursts after every third timing mark, head W is servoed on the  
30 initial "A" burst at a radial position represented by  $Q1$  or  $Q1_{new}$ , as described above, STEP 126 "SERVO HEAD." With head W at this radial position, an amplitude

-31-

burst "B" is written at circumferential positions represented by every third timing mark (2, 5, 8, etc.), STEP 128 "WRITE BURST "B"." Each "B" burst is written after every third timing mark with a nominal delay of one (1) microsecond and a width of ten (10) microseconds.

Subsequent to writing the amplitude "A" and "B" bursts, a sector header triggered on every third timing mark (1, 4, 7, etc.) is written, STEP 130 "WRITE SECTOR HEADER." The sector header includes a servo identification field and gray code information, and is written with a nominal delay of one (1) microsecond and a total duration of less than twenty-nine (29) microseconds.

After the sector headers are written, head W is servoed on amplitude burst "B" to the signal level ratio of  $Q1$  or  $Q1_{dcw}$ , as determined above, STEP 132 "SERVO HEAD." With head W at this radial position, an amplitude burst "C" triggered on every third timing mark (1, 4, 7, etc.) is written with a nominal delay of forty (40) microseconds and a width of ten (10) microseconds, STEP 134 "WRITE BURST "C"."

Thereafter, head W is servoed on the "C" burst to the signal level ratio of  $Q1$  or  $Q1_{dcw}$ , STEP 136 "SERVO HEAD," and an amplitude burst "D" triggered on every third timing mark (2, 5, 8, etc.) is written with a nominal delay of ten (10) microseconds and a width of ten (10) microseconds, STEP 138 "WRITE BURST "D"."

Subsequent to writing bursts "C" and "D", a sector header is written, STEP 140 "WRITE SECTOR

-32-

HEADER." Similar to writing the sector header in STEP 130, the sector header, including servo identification field and gray code information, is written after every third timing mark (1, 4, 7, etc.) and is written with a nominal delay of one (1) microsecond and a total duration of less than twenty-nine (29) microseconds.

After writing the sector headers, head W is servoed on the amplitude burst "D" to the signal level ratio of  $Q_1$  or  $Q_{1_{new}}$ , STEP 142 "SERVO HEAD." At this position, burst "A" is written with a nominal delay of thirty (30) microseconds and a width of ten (10) microseconds, STEP 144 "WRITE BURST "A"." As before, the writing of burst "A" is triggered on every third timing mark (1, 4, 7, etc.).

Subsequent to writing the "A" bursts, if it is desired to generate the servo-pattern over more of the entire disk surface, INQUIRY 146 "MORE INFORMATION TO BE WRITTEN?", then flow returns to STEP 126 and the process is repeated. Otherwise, the process of writing the servo-pattern on one disk surface, in accordance with the principles of the present invention, is complete, STEP 148 "END."

At this point, servo-patterns may be generated on any other available disk surfaces, STEP 160 "GENERATE SERVO-PATTERNS ON OTHER SURFACES" (FIG. 2). This is accomplished as described below by using the information from the previously written servo-pattern.

Referring to FIG. 17, one technique for generating servo-patterns on other disk surfaces is

-33-

described. Initially, the head that writes the widest track is servoed on the "B" burst of surface W to the signal level of Q1 or Q1<sub>dcw</sub>, STEP 162 "SERVO ONE HEAD ON "B" BURST." Then, head W reads every third timing mark (i.e., timing mark 1, 4, 7, etc.) on surface W, STEP 164 "READ TIMING MARKS" and triggers the write operation of a second head on a second surface, which can be any head or corresponding surface in the disk drive. The second head writes a "C" burst at a nominal delay of forty (40) microseconds, STEP 166 "WRITE "C" BURSTS WITH A SECOND HEAD."

Subsequently, head W servos on the "D" burst of surface W to the signal level ratio of Q1 or Q1<sub>dcw</sub>, STEP 168 "SERVO ONE HEAD ON "D" BURST." With head W at this radial position, head W reads every third timing mark (e.g., 1, 4, 7, etc.) on surface W, STEP 170 "READ TIMING MARKS" and triggers the second head to perform a write operation. The second head writes an amplitude burst "A" on the second surface at a nominal delay of thirty (30) microseconds, STEP 172 "WRITE "A" BURSTS WITH A SECOND HEAD."

After the "A" and "C" bursts are written, if there is more of the servo-pattern on surface W, INQUIRY 174 "MORE INFORMATION?", then flow returns to STEP 162 and the process is repeated. The above is assuming that the servo-pattern consists of the "A" and "C" bursts and not the "B" and "D" bursts, which are only temporary and are used as servo points. The "B" and "D" bursts represent locations where the data tracks will be and, therefore, the "B" and "D" bursts will be overwritten.

-34-

When the servo-pattern is generated on an additional surface, then sector header information is placed on the second surface. The second head is servoed on the "C" burst located on the second surface to a signal level ratio of  $Q_1$  or  $Q_{1_{serv}}$ , STEP 5 176 "SERVO SECOND HEAD ON "C" BURST." While servoing at this position, head W is triggered on every third timing mark (e.g., 1, 4, 7, etc.) on surface W and a sector header is written by the second head with a nominal delay of one (1) microsecond and a total duration of less than twenty-nine (29) microseconds, STEP 10 178 "WRITE SECTOR HEADER."

Thereafter, the second head is servoed on the "A" burst located on the second surface to the signal level ratio of  $Q_1$  or  $Q_{1_{serv}}$ , STEP 15 180 "SERVO SECOND HEAD ON "A" BURST." Head W is once again triggered on every third timing mark (e.g., 1, 4, 7, etc.) on surface W and a sector header is written, STEP 182 "WRITE SECTOR HEADER." As before, the sector header 20 includes a servo-identification field and gray code information and is written with a nominal delay of one (1) microsecond and a total duration of less than twenty-nine (29) microseconds.

Should there be more sector information to be written, INQUIRY 184 "MORE SECTOR INFORMATION?", then 25 flow passes to STEP 176 and the process is repeated. Otherwise, all of the sector information is written and the process of generating a servo-pattern on another disk surface is complete, STEP 186 "END". It 30 will be apparent that the above process can be used to generate the servo-pattern on as many disk surfaces as desired. Referring back to FIG. 2, after

-35-

the servo-pattern is propagated to other surfaces,  
the process is complete, STEP 190 "END."

The above-described process results in an  
amplitude burst servo-pattern written on sixty (60)  
5 sectors of a disk surface. If a phase encoded  
pattern was required, the amplitude bursts would be  
used for radial information, while the head writes  
the phase encoded pattern using the timing  
information available from the timing marks. It will  
10 be apparent to one of ordinary skill in the art that  
the techniques of the present invention can be used  
to write a servo-pattern with more than two bursts,  
and that two bursts are only one example.

Described above is one embodiment for writing a  
15 servo-pattern on a disk surface. Described below,  
with reference to FIG. 2 and FIG. 18, is another  
embodiment for writing a servo-pattern. Referring to  
FIG. 2, in this second embodiment, the widest head is  
determined, as well as the track pitch, in the manner  
20 described in detail above. However, the generation  
of a timing pattern differs from the above process  
and is described in detail with reference to FIG. 18.

In accordance with the principles of the present  
invention, in this embodiment, the head selected to  
25 write the timing pattern is one of the heads which  
does not write the widest track. As used herein, the  
selected head is referred to as head 1, but it should  
be noted that it can be any head within the disk  
drive except for that one which writes the widest  
30 track. In another embodiment, however, it may be the  
one that writes the widest track. Referring to FIG.  
18, the selected head, head 1, is used to write

-36-

magnetic transitions representative of a timing pattern on a first track of the disk surface corresponding to head 1. This surface is referred to herein as surface 1, STEP 200 "WRITE CLOCK TRACK WITH ONE HEAD." In one example, the clock track is written onto the disk surface at approximately 2.5 Mhz and a clock track is written at all radial positions on the disk surface.

Subsequent to writing the first clock track with head 1, actuator 18 is moved a predetermined distance, STEP 202 "MOVE ACTUATOR A PREDETERMINED DISTANCE." In one example, the actuator is moved until the amplitude of the read-back signal is roughly one-half of the on-track signal. The actuator is servo-positioned at this one-half amplitude position by sampling the rectified head signal. While the actuator is so positioned, head 1 reads the pattern previously written on the first disk surface and a second head, referred to as head 2, writes a pattern on a second disk surface (surface 2) which is phase-locked to the pattern read by the first head, resulting in a new clock track on a different disk surface, STEP 204 "READ PATTERN FROM HEAD 1 AND WRITE PATTERN WITH HEAD 2." Similar to head 1, head 2 does not necessarily have to be the second head of the disk drive, but can be any head in the disk drive.

Subsequent to writing timing information on the second disk surface, the second head is positioned, STEP 206 "POSITION HEAD 2." In particular, the second head is switched from write mode to read mode and it reads the previously written transition. The signal is converted to an amplitude signal and the

-37-

actuator is positioned to the amplitude signal level of Q1 or Q1<sub>DEW</sub>. In this position, the second head reads the clock information on the second surface and a second clock track is written by head 1 on the  
5 first disk surface adjacent to the first clock track, STEP 208 "READ PATTERN FROM HEAD 2 AND WRITE PATTERN WITH HEAD 1."

Thereafter, if it is desired to place further clock information on the disk surface, INQUIRY 210  
10 "MORE INFORMATION," flow returns to STEP 202. In one embodiment, it is desired to place timing information on an entire disk surface (i.e., at all radial positions). By repeating the process until an entire disk surface is written with clock tracks, the  
15 circumferential position of the head is known at any actuator radial position. The radial positioning accuracy during this process is not that critical as long as the read-back signals are phase locked and add coherently.

20 Described above is a technique for using two internal recording heads to write a dedicated clock surface. In the example provided, the two recording heads write to different disk surfaces, however, this is not essential. It is possible that the two heads  
25 can write to the same surface. One head reads the pattern and the other writes the pattern until a dedicated clock surface is provided by stepping across the disk surface.

Referring back to FIG. 2, after the timing  
30 information is generated, the servo-pattern is written on one of the disk surfaces using the head that writes the widest track, as described in detail

-38-

above. Thereafter, the servo-pattern is propagated to all disk surfaces, except the one containing the clock information.

In another embodiment and in accordance with the principles of the present invention, it is also possible to write a servo-pattern on the surface with the clock information. In order to accomplish this, the clock information is written between the radial sector information, on a second surface (i.e., a surface other than the original clock surface). If the radial sectors on the second surface are shifted circumferentially with respect to the first clock surface, the clock information can be available at all theta positions. The clock information on the second surface is used to write the servo-pattern on the original clock surface.

Described above are techniques for writing servo-patterns without using external sensors. Although preferred embodiments have been depicted and described in detail herein, it will be apparent to those skilled in the relevant art that various modifications, additions, substitutions and the like can be made without departing from the spirit of the invention and these are therefore considered to be within the scope of the invention as defined in the following claims.

-39-

CLAIMS

What is claimed is:

- 1           1.    A method for writing a servo-pattern on a  
2           storage medium located in a recording device having  
3           an internal recording head, said storage medium  
4           comprising a plurality of radial regions, each having  
5           a plurality of tracks, said method comprising the  
6           steps of:  
  
7                    generating a timing pattern on said storage  
8           medium with said internal recording head;  
  
9                    determining for at least one of said  
10           plurality of radial regions a radial positioning  
11           value from a pattern propagated by said internal  
12           recording head in said region, said radial  
13           positioning value being used for radially  
14           positioning said internal recording head; and  
  
15                   writing a servo-pattern on said storage  
16           medium with said internal recording head, said  
17           servo-pattern being written at locations  
18           determined by said timing pattern and said  
19           radial positioning value.
- 1           2.    The method of claim 1, wherein said  
2           recording device comprises a plurality of internal  
3           recording heads and said method further comprises the  
4           step of determining which of said plurality of  
5           internal recording heads writes the widest.

-40-

1           3.    The method of claim 2, wherein said  
2   recording device comprises a plurality of storage  
3   media, each of said plurality of storage media having  
4   at least one of said plurality of internal recording  
5   heads associated therewith, and wherein said step of  
6   determining which of said plurality of internal  
7   recording heads writes the widest comprises the steps  
8   of:

9                writing a first transition with each of  
10   said plurality of internal recording heads;

11               writing a second transition with one of  
12   said plurality of internal recording heads, said  
13   second transition being written at a  
14   predetermined radial distance from said first  
15   transition written with said one of said  
16   plurality of internal recording heads;

17               positioning each of said plurality of  
18   internal recording heads using said second  
19   transition; and

20               reading and comparing with said positioned  
21   recording heads an amplitude signal associated  
22   with each of said first transitions and  
23   determining therefrom which of said plurality of  
24   internal recording heads writes the widest.

1           4.    The method of claim 3, wherein said  
2   predetermined radial distance is where a read-back  
3   signal of said one of said internal recording heads  
4   used to write said second transition is approximately  
5   one-half of its maximum amplitude.

-41-

1           5.    The method of claim 2, wherein said  
2    internal recording head determined to write the  
3    widest is used to generate said timing pattern.

1           6.    The method of claim 2, wherein said  
2    internal recording head determined to write the  
3    widest is used to write said servo-pattern.

1           7.    The method of claim 1, wherein said storage  
2    medium comprises N tracks and said radial positioning  
3    determining step comprises the steps of:

4                   writing at least one transition on a  
5                   portion of said N tracks, said portion of said N  
6                   tracks being less than said N tracks;

7                   obtaining a read-back signal for said at  
8                   least one transition written on each of said  
9                   portion of said N tracks; and

10                  determining from said read-back signals  
11                  said radial positioning value.

1           8.    The method of claim 1, wherein said  
2    generating step comprises the steps of:

3                   writing a first plurality of  
4                   transitions on a first of a plurality of  
5                   tracks of said storage medium; and

6                   writing a second plurality of  
7                   transitions on a second of said plurality  
8                   of tracks of said storage medium, each of a  
9                   first portion of said second plurality of  
10                  transitions being written at a

-42-

11 corresponding first time delay and each of  
12 a second portion of said second plurality  
13 of transitions being written at a  
14 corresponding second time delay.

1 9. The method of claim 58, wherein said pair  
2 of said plurality of transitions comprises an odd  
3 numbered transition and an even numbered transition.

1 10. The method of claim 1, wherein said  
2 recording device comprises a plurality of internal  
3 recording heads and a plurality of recording media,  
4 each of said plurality of recording media having at  
5 least one of said plurality of internal recording  
6 heads associated therewith, and wherein said  
7 generating step further comprises the steps of:

8 writing a first plurality of transitions  
9 representative of a timing pattern with a first  
10 of said plurality of internal recording heads;

11 positioning said first of said plurality of  
12 internal recording heads and a second of said  
13 plurality of internal recording heads;

14 reading said first plurality of transitions  
15 with said positioned first of said plurality of  
16 internal recording heads and writing a second  
17 plurality of transitions representative of a  
18 timing pattern with said positioned second of  
19 said plurality of internal recording heads;

20 repositioning said first and second of said  
21 plurality of internal recording heads; and

-43-

22 reading said second plurality of  
23 transitions with said repositioned second of  
24 said plurality of internal recording heads and  
25 writing a third plurality of transitions with  
26 said repositioned first of said plurality of  
27 internal recording heads.

-44-

1           11. A method for generating a timing pattern on  
2 a storage medium having a plurality of tracks, said  
3 method comprising the steps of:

4                 writing a first plurality of  
5 transitions at a first radial position on  
6 said storage medium;

7                 determining a time interval between  
8 selected pairs of said first plurality of  
9 transitions;

10                determining an amount of deviation  
11 between each determined time interval and a  
12 predetermined nominal interval, such that  
13 each selected pair of said first plurality  
14 of transitions has a corresponding  
15 determined amount of deviation; and

16                writing a second plurality of  
17 transitions at a second radial position on  
18 said storage medium, each of said second  
19 plurality of transitions being written at a  
20 corresponding time delay following a  
21 preceding one of said first plurality of  
22 transitions, said corresponding time delay  
23 being determined by said nominal time  
24 interval and a function of said  
25 corresponding determined amount of  
26 deviation, such that propagation of random  
27 errors associated with writing said first  
28 plurality of transitions are reduced in  
29 writing said second plurality of  
30 transitions, whereby random errors in  
31 alignment of said second plurality of

-45-

32 transitions with respective ones of said  
33 first plurality of transitions are reduced.

1 12. The method of claim 68, wherein a pair of  
2 said first plurality of transitions comprises an odd  
3 numbered transition and an even numbered transition.

1 13. The method of claim 68, wherein said first  
2 portion of said second plurality of transitions  
3 represents a plurality of even numbered transitions  
4 and wherein each of said first time delays comprises  
5 said predetermined nominal interval plus a fraction  
6 of an amount of deviation related to a pair of said  
7 first plurality of transitions, and wherein each of  
8 said first portion of said second plurality of  
9 transitions corresponds to one of said pair of said  
10 first plurality of transitions.

1 14. The method of claim 13, wherein said  
2 plurality of even numbered transitions are written  
3 using said odd numbered transitions written at said  
4 first radial position as trigger points.

1 15. The method of claim 12, wherein said second  
2 portion of said second plurality of transitions  
3 represents a plurality of odd numbered transitions  
4 and wherein each of said second time delays comprises  
5 a predetermined nominal interval.

1 16. The method of claim 15, wherein said  
2 plurality of odd numbered transitions are written  
3 using said even numbered transitions written at said  
4 first radial position as trigger points.

-46-

1           17. A method for determining the track pitch of  
2 a recording device comprising a storage medium, said  
3 storage medium having N tracks, said method  
4 comprising the steps of:

5                 writing a transition on a plurality of said  
6 N tracks, said plurality of said N tracks being  
7 less than said N tracks;

8                 obtaining a read-back signal associated  
9 with said transition written on each of said  
10 plurality of said N tracks; and

11                 comparing said read-back signals to  
12 determine said track pitch.

1           18. The method of claim 17, wherein said  
2 plurality of said N tracks comprises four tracks.

1           19. The method of claim 17, wherein said  
2 writing step comprises the steps of:

3                 (a) positioning a recording head of  
4 said recording device against a delimiter;

5                 (b) using said positioned recording  
6 head to write a transition on one of said  
7 plurality of said N tracks;

8                 (c) repositioning said recording head  
9 to a predetermined location on another one  
10 of said plurality of said N tracks;

-47-

11           (d) using said repositioned recording  
12 head to write a transition on said another  
13 one of said plurality of said N tracks;

14           (e) repeating steps (c) and (d) until  
15 information is written on each of said  
16 plurality of said N tracks.

1           20. The method of claim 19, wherein said  
2 predetermined location of said repositioning step (c)  
3 comprises a position wherein said read-back signal  
4 from said recording head is at approximately one-half  
5 of a maximum amplitude of said recording head.

1           21. The method of claim 19, further comprising  
2 the steps of:

3           determining whether said track pitch is  
4 correct; and

5           adjusting the value of said read-back  
6 signal of said recording head when said track  
7 pitch is incorrect.

1           22. The method of claim 21, wherein said  
2 adjusting step comprises the step of using a  
3 predefined equation to determine said adjusted value.

1           23. The method of claim 22, further comprising  
2 the step of using said adjusted value to write  
3 information on each of said plurality of said N  
4 tracks.

-48-

1           24. A method for determining which of a  
2 plurality of recording heads in a recording device  
3 having a plurality of storage media writes the  
4 widest, each of said plurality of storage media  
5 having at least one of said plurality of recording  
6 heads associated therewith, said method comprising  
7 the steps of:

8                   writing a first transition with each of  
9 said plurality of recording heads;

10                   writing a second transition with one of  
11 said plurality of recording heads, said second  
12 transition being written at a predetermined  
13 distance from a first transition written with  
14 said one of said plurality of recording heads;

15                   positioning each of said plurality of  
16 recording heads using said second transition;  
17 and

18                   reading and comparing with said positioned  
19 recording heads an amplitude signal associated  
20 with each of said first transitions and  
21 determining therefrom which of said plurality of  
22 recording heads writes the widest.

1           25. The method of claim 24, wherein said  
2 positioning step comprises the step of converting  
3 said second transition to an amplitude signal.

-49-

1           26. A method for generating a timing pattern on  
2 one of a plurality of storage media located in a  
3 recording device comprising a plurality of internal  
4 recording heads, each of said plurality of storage  
5 media having at least one of said plurality of  
6 internal recording heads associated therewith, said  
7 method comprising the steps of:

8           (a) writing a first plurality of  
9 transitions representative of a timing pattern  
10 with a first of said plurality of internal  
11 recording heads;

12           (b) positioning said first of said  
13 plurality of internal recording heads and a  
14 second of said plurality of internal recording  
15 heads;

16           (c) reading said first plurality of  
17 transitions with said positioned first of said  
18 plurality of internal recording heads and  
19 writing a second plurality of transitions  
20 representative of a timing pattern with said  
21 positioned second of said plurality of internal  
22 recording heads;

23           (d) repositioning said first and second of  
24 said plurality of internal recording heads; and

25           (e) reading said second plurality of  
26 transitions with said repositioned second of  
27 said plurality of internal recording heads and  
28 writing a third plurality of transitions with  
29 said repositioned first of said plurality of  
30 internal recording heads.

-50-

1           27. The method of claim 26, further comprising  
2 the step of repeating steps (b)-(e) until said timing  
3 pattern is generated on an entire surface of said one  
4 of said plurality of storage media.

1           28. The method of claim 26, wherein said  
2 repositioning step comprises the step of moving said  
3 first and second of said plurality of internal  
4 recording heads to a location in which an amplitude  
5 signal associated with said first plurality of  
6 transitions is approximately one-half of its maximum  
7 value.

-51-

1           29. A system for writing a servo-pattern on a  
2 storage medium located in a recording device having  
3 an internal recording head, said storage medium  
4 comprising a plurality of radial regions, each having  
5 a plurality of tracks, said system comprising:

6                   means for generating a timing pattern on  
7 said storage medium with said internal recording  
8 head;

9                   means for determining for at least one of  
10 said plurality of radial regions a radial  
11 positioning value from a pattern propagated by  
12 said internal recording head in said region,  
13 said radial positioning value being used for  
14 radially positioning said internal recording  
15 head; and

16                   means for writing a servo-pattern on said  
17 storage medium with said internal recording  
18 head, said servo-pattern being written at  
19 locations determined by said timing pattern and  
20 said radial positioning value.

1           30. The system of claim 29, wherein said  
2 recording device comprises a plurality of internal  
3 recording heads and said system further comprises  
4 means for determining which of said plurality of  
5 internal recording heads writes the widest.

1           31. The system of claim 30, wherein said  
2 recording device comprises a plurality of storage  
3 media, each of said plurality of storage media having  
4 at least one of said plurality of internal recording  
5 heads associated therewith, and wherein said means

-52-

6 for determining which of said plurality of internal  
7 recording heads writes the widest further comprises:

8 means for writing a first transition with  
9 each of said plurality of internal recording  
10 heads;

11 means for writing a second transition with  
12 one of said plurality of internal recording  
13 heads, said second transition being written at a  
14 predetermined radial distance from said first  
15 transition written with said one of said  
16 plurality of internal recording heads;

17 means for positioning each of said  
18 plurality of internal recording heads using said  
19 second transition; and

20 means for reading and comparing with said  
21 positioned recording heads an amplitude signal  
22 associated with each of said first transitions  
23 and determining therefrom which of said  
24 plurality of internal recording heads writes the  
25 widest.

1 32. The system of claim 31, wherein said  
2 predetermined radial distance is where a read-back  
3 signal of said one of said internal recording heads  
4 used to write said second transition is approximately  
5 one-half of its maximum amplitude.

1 33. The system of claim 30, wherein said  
2 internal recording head determined to write the  
3 widest is used to generate said timing pattern.

-53-

1           34. The system of claim 30, wherein said  
2 internal recording head determined to write the  
3 widest is used to write said servo-pattern.

1           35. The system of claim 29, wherein said  
2 storage medium comprises N tracks and said radial  
3 positioning determining means comprises:

4                 means for writing at least one transition  
5 on a portion of said N tracks, said portion of  
6 said N tracks being less than said N tracks;

7                 means for obtaining a read-back signal for  
8 said at least one transition written on each of  
9 said portion of said N tracks; and

10                means for determining from said read-back  
11 signals said radial positioning value.

1           36. The system of claim 29, wherein said  
2 generating means comprises:

3                 means for writing a first plurality of  
4 transitions on a first of a plurality of  
5 tracks of said storage medium; and

6                 means for writing a second plurality  
7 of transitions on a second of said  
8 plurality of tracks of said storage medium,  
9 each of a first portion of said second  
10 plurality of transitions being written at a  
11 corresponding first time delay and each of  
12 a second portion of said second plurality  
13 of transitions being written at a  
14 corresponding second time delay.

-54-

1           37. The system of claim 64, wherein said pair  
2 of said plurality of transitions comprises an odd  
3 numbered transition and an even numbered transition.

1           38. The system of claim 29, wherein said  
2 recording device comprises a plurality of internal  
3 recording heads and a plurality of recording media,  
4 each of said plurality of recording media having at  
5 least one of said plurality of internal recording  
6 heads associated therewith, and wherein said  
7 generating means further comprises:

8                   means for writing a first plurality of  
9 transitions representative of a timing pattern  
10 with a first of said plurality of internal  
11 recording heads;

12                   means for positioning said first of said  
13 plurality of internal recording heads and a  
14 second of said plurality of internal recording  
15 heads;

16                   means for reading said first plurality of  
17 transitions with said positioned first of said  
18 plurality of internal recording heads and  
19 writing a second plurality of transitions  
20 representative of a timing pattern with said  
21 positioned second of said plurality of internal  
22 recording heads;

23                   means for repositioning said first and  
24 second of said plurality of internal recording  
25 heads; and

-55-

26 means for reading said second plurality of  
27 transitions with said repositioned second of  
28 said plurality of internal recording heads and  
29 writing a third plurality of transitions with  
30 said repositioned first of said plurality of  
31 internal recording heads.

-56-

1           39. A system for generating a timing pattern on  
2 a storage medium having a plurality of tracks, said  
3 system comprising:

4                 means for writing a first plurality of  
5 transitions at a first radial position on  
6 said storage medium;

7                 means for determining a time interval  
8 between selected pairs of said first  
9 plurality of transitions;

10                means for determining an amount of  
11 deviation between each determined time  
12 interval and a predetermined nominal  
13 interval, such that each selected pair of  
14 said first plurality of transitions has a  
15 corresponding determined amount of  
16 deviation; and

17                means for writing a second plurality of  
18 transitions at a second radial position on said  
19 storage medium, each of said second plurality of  
20 transitions being written at a corresponding  
21 time delay following a preceding one of said  
22 first plurality of transitions, said  
23 corresponding time delay being determined by  
24 said nominal time interval and a function of  
25 said corresponding determined amount of  
26 deviation, such that propagation of random  
27 errors associated with writing said first  
28 plurality of transitions are reduced in writing  
29 said second plurality of transitions, whereby  
30 random errors in alignment of said second

-57-

31 plurality of transitions with respective ones of  
32 said first plurality of transitions are reduced.

1 40. The system of claim 69, wherein a pair of  
2 said first plurality of transitions comprises an odd  
3 numbered transition and an even numbered transition.

1 41. The system of claim 69, wherein said first  
2 portion of said second plurality of transitions  
3 represents a plurality of even numbered transitions  
4 and wherein each of said first time delays comprises  
5 said predetermined nominal interval plus a fraction  
6 of an amount of deviation related to a pair of said  
7 first plurality of transitions, and wherein each of  
8 said first portion of said second plurality of  
9 transitions corresponds to one of said pair of said  
10 first plurality of transitions.

1 42. The system of claim 41, wherein said  
2 plurality of even numbered transitions are written  
3 using said odd numbered transitions written at said  
4 first radial position as trigger points.

1 43. The system of claim 40, wherein said second  
2 portion of said second plurality of transitions  
3 represents a plurality of odd numbered transitions  
4 and wherein each of said second time delays comprises  
5 a predetermined nominal interval.

1 44. The system of claim 43, wherein said  
2 plurality of odd numbered transitions are written  
3 using said even numbered transitions written at said  
4 first radial position as trigger points.

-58-

1           45. A system for determining the track pitch of  
2 a recording device comprising a storage medium, said  
3 storage medium having N tracks, said system  
4 comprising:

5           means for writing a transition on a  
6 plurality of said N tracks, said plurality of  
7 said N tracks being less than said N tracks;

8           means for obtaining a read-back signal  
9 associated with said transition written on each  
10 of said plurality of said N tracks; and

11           means for comparing said read-back signals  
12 to determine said track pitch.

1           46. The system of claim 45, wherein said  
2 plurality of said N tracks comprises four tracks.

1           47. The system of claim 45, wherein said  
2 writing means comprises:

3           means for positioning a recording head  
4 of said recording device against a  
5 delimiter;

6           means for using said positioned  
7 recording head to write a transition on one  
8 of said plurality of said N tracks;

9           means for repositioning said recording  
10 head to a predetermined location on another  
11 one of said plurality of said N tracks; and

-59-

12 means for using said repositioned  
13 recording head to write a transition on  
14 said another one of said plurality of said  
15 N tracks.

1 48. The system of claim 47, wherein said  
2 predetermined location of said repositioning means  
3 comprises a position wherein said read-back signal  
4 from said recording head is at approximately one-half  
5 of a maximum amplitude of said recording head.

1 49. The system of claim 47, further comprising:  
  
2 means for determining whether said track  
3 pitch is correct; and

4 means for adjusting the value of said read-  
5 back signal of said recording head when said  
6 track pitch is incorrect.

1 50. The system of claim 49, wherein said  
2 adjusting means comprises means for using a  
3 predefined equation to determine said adjusted value.

1 51. The system of claim 50, further comprising  
2 means for using said adjusted value to write  
3 information on each of said plurality of said N  
4 tracks.

-60-

1           52. A system for determining which of a  
2 plurality of recording heads in a recording device  
3 having a plurality of storage media writes the  
4 widest, each of said plurality of storage media  
5 having at least one of said plurality of recording  
6 heads associated therewith, said system comprising:

7                   means for writing a first transition with  
8 each of said plurality of recording heads;

9                   means for writing a second transition with  
10 one of said plurality of recording heads, said  
11 second transition being written at a  
12 predetermined distance from a first transition  
13 written with said one of said plurality of  
14 recording heads;

15                   means for positioning each of said  
16 plurality of recording heads using said second  
17 transition; and

18                   means for reading and comparing with said  
19 positioned recording heads an amplitude signal  
20 associated with each of said first transitions  
21 and determining therefrom which of said  
22 plurality of recording heads writes the widest.

1           53. The system of claim 52, wherein said  
2 positioning means comprises means for converting said  
3 second transition to an amplitude signal.

-61-

1           54. A system for generating a timing pattern on  
2 one of a plurality of storage media located in a  
3 recording device comprising a plurality of internal  
4 recording heads, each of said plurality of storage  
5 media having at least one of said plurality of  
6 internal recording heads associated therewith, said  
7 system comprising:

8                   means for writing a first plurality of  
9 transitions representative of a timing pattern  
10 with a first of said plurality of internal  
11 recording heads;

12                   means for positioning said first of said  
13 plurality of internal recording heads and a  
14 second of said plurality of internal recording  
15 heads;

16                   means for reading said first plurality of  
17 transitions with said positioned first of said  
18 plurality of internal recording heads and  
19 writing a second plurality of transitions  
20 representative of a timing pattern with said  
21 positioned second of said plurality of internal  
22 recording heads;

23                   means for repositioning said first and  
24 second of said plurality of internal recording  
25 heads; and

26                   means for reading said second plurality of  
27 transitions with said repositioned second of  
28 said plurality of internal recording heads and  
29 writing a third plurality of transitions with

-62-

30        said repositioned first of said plurality of  
31        internal recording heads.

1        55. The system of claim 54, wherein said  
2        repositioning means comprises means for moving said  
3        first and second of said plurality of internal  
4        recording heads to a location in which an amplitude  
5        signal associated with said first plurality of  
6        transitions is approximately one-half of its maximum  
7        value.

-63-

1           56. A recording device comprising:

2                   a storage medium located within said  
3           recording device, said storage medium comprising  
4           a plurality of radial regions, each having a  
5           plurality of tracks;

6                   an internal recording head within said  
7           recording device for generating a timing pattern  
8           on said storage medium, generating a pattern for  
9           determining a radial positioning value used for  
10          radially positioning said internal recording  
11          head, and for writing a servo-pattern on said  
12          storage medium; and

13                   means for determining for at least one of  
14          said plurality of radial regions a radial  
15          positioning value from a pattern propagated by  
16          said internal recording head in said region,  
17          said radial positioning value being used for  
18          radially positioning said internal recording  
19          head.

1           57. The method of claim 1, wherein the step of  
2          determining a radial positioning value comprises  
3          determining a radial positioning value for every  
4          radial region.

1           58. The method of claim 8, further comprising  
2          the steps of:

3                   determining a time interval between each  
4          pair of said first plurality of transitions; and

-64-

5           determining an amount of deviation  
6           between each determined time interval and a  
7           predetermined nominal interval, such that  
8           each pair of said first plurality of  
9           transitions has a corresponding determined  
10          amount of deviation.

1           59. The method of claim 58, wherein each of  
2           said first time delays is determined based on a  
3           function of said predetermined nominal interval and  
4           an amount of deviation related to a pair of said  
5           first plurality of transitions, and wherein each of  
6           said first portion of said second plurality of  
7           transitions corresponds to one of said pair of said  
8           first plurality of transitions.

1           60. The method of claim 58, wherein each of  
2           said first time delays comprises said predetermined  
3           nominal interval plus a fraction of an amount of  
4           deviation related to a pair of said first plurality  
5           of transitions, and wherein each of said first  
6           portion of said second plurality of transitions  
7           corresponds to one of said pair of said first  
8           plurality of transitions.

1           61. The method of claim 68, wherein each of  
2           said first time delays is determined based on a  
3           function of said predetermined nominal interval and  
4           an amount of deviation related to a pair of said  
5           first plurality of transitions, and wherein each of  
6           said first portion of said second plurality of  
7           transitions corresponds to one of said pair of said  
8           first plurality of transitions.

-65-

1           62. The method of claim 11, further comprising  
2 repeating said steps of determining a time interval,  
3 determining an amount of deviation and writing a  
4 second plurality of transitions for each of said  
5 plurality of tracks.

1           63. The system of claim 29, wherein said means  
2 for determining a radial positioning value comprises  
3 means for determining a radial positioning value for  
4 every radial region.

1           64. The system of claim 36, further comprising:  
  
2                 means for determining a time interval  
3 between each pair of said first plurality of  
4 transitions; and  
  
5                 means for determining an amount of  
6 deviation between each determined time  
7 interval and a predetermined nominal  
8 interval, such that each pair of said first  
9 plurality of transitions has a  
10 corresponding determined amount of  
11 deviation.

1           65. The system of claim 64, wherein each of  
2 said first time delays is determined based on a  
3 function of said predetermined nominal interval and  
4 an amount of deviation related to a pair of said  
5 first plurality of transitions, and wherein each of  
6 said first portion of said second plurality of  
7 transitions corresponds to one of said pair of said  
8 first plurality of transitions.

-66-

1           66. The system of claim 64, wherein each of  
2 said first time delays comprises said predetermined  
3 nominal interval plus a fraction of an amount of  
4 deviation related to a pair of said first plurality  
5 of transitions, and wherein each of said first  
6 portion of said second plurality of transitions  
7 corresponds to one of said pair of said first  
8 plurality of transitions.

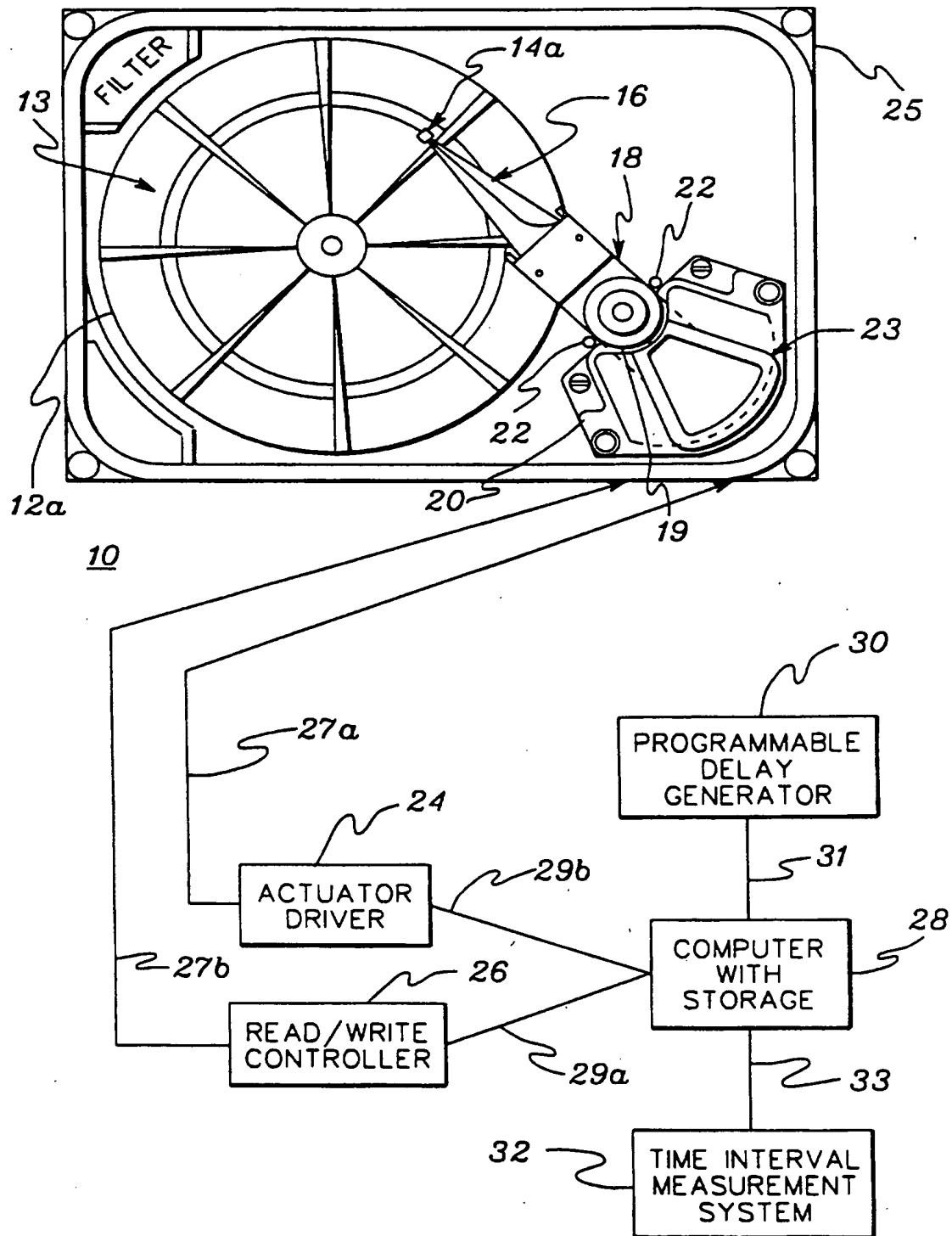
1           67. The system of claim 69, wherein each of  
2 said first time delays is determined based on a  
3 function of said predetermined nominal interval and  
4 an amount of deviation related to a pair of said  
5 first plurality of transitions, and wherein each of  
6 said first portion of said second plurality of  
7 transitions corresponds to one of said pair of said  
8 first plurality of transitions.

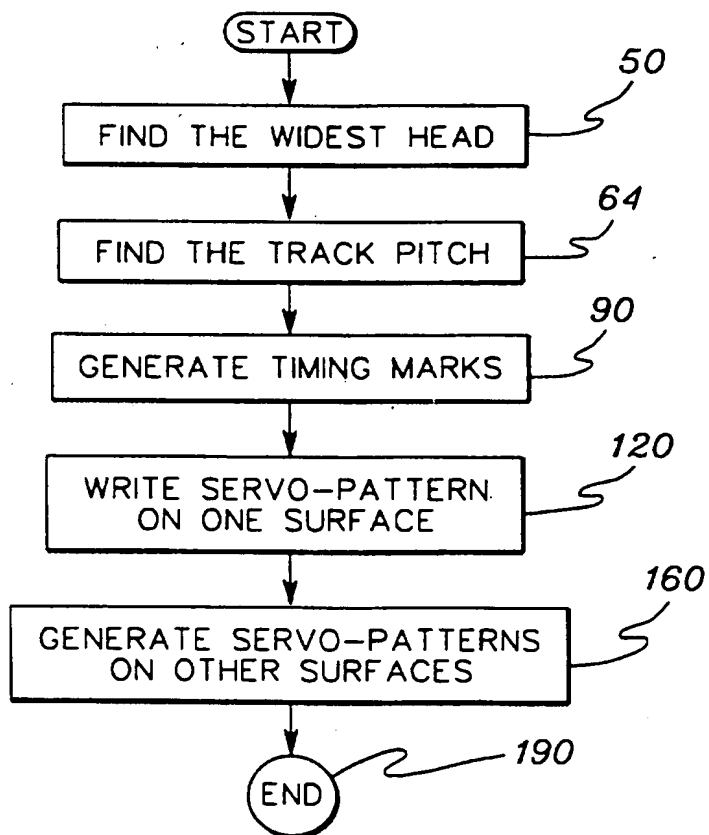
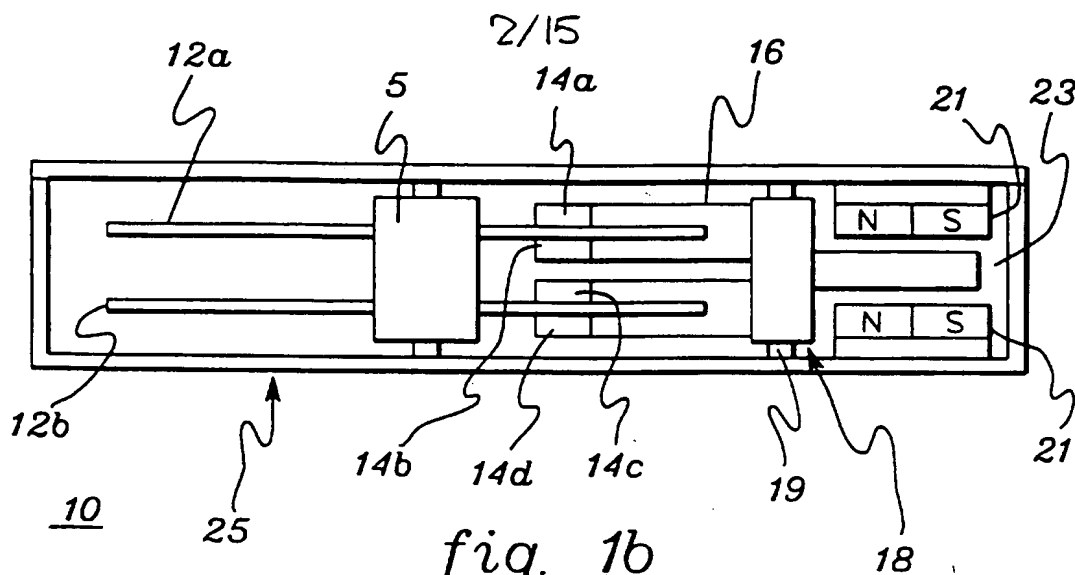
1           68. The method of claim 11, wherein said second  
2 plurality of transitions comprises a first portion of  
3 transitions, each being written at a corresponding  
4 first time delay, and a second portion of  
5 transitions, each being written at a corresponding  
6 second time delay.

1           69. The system of claim 39, wherein said second  
2 plurality of transitions comprises a first portion of  
3 transitions, each being written at a corresponding  
4 first time delay, and a second portion of  
5 transitions, each being written at a corresponding  
6 second time delay.

\* \* \* \* \*

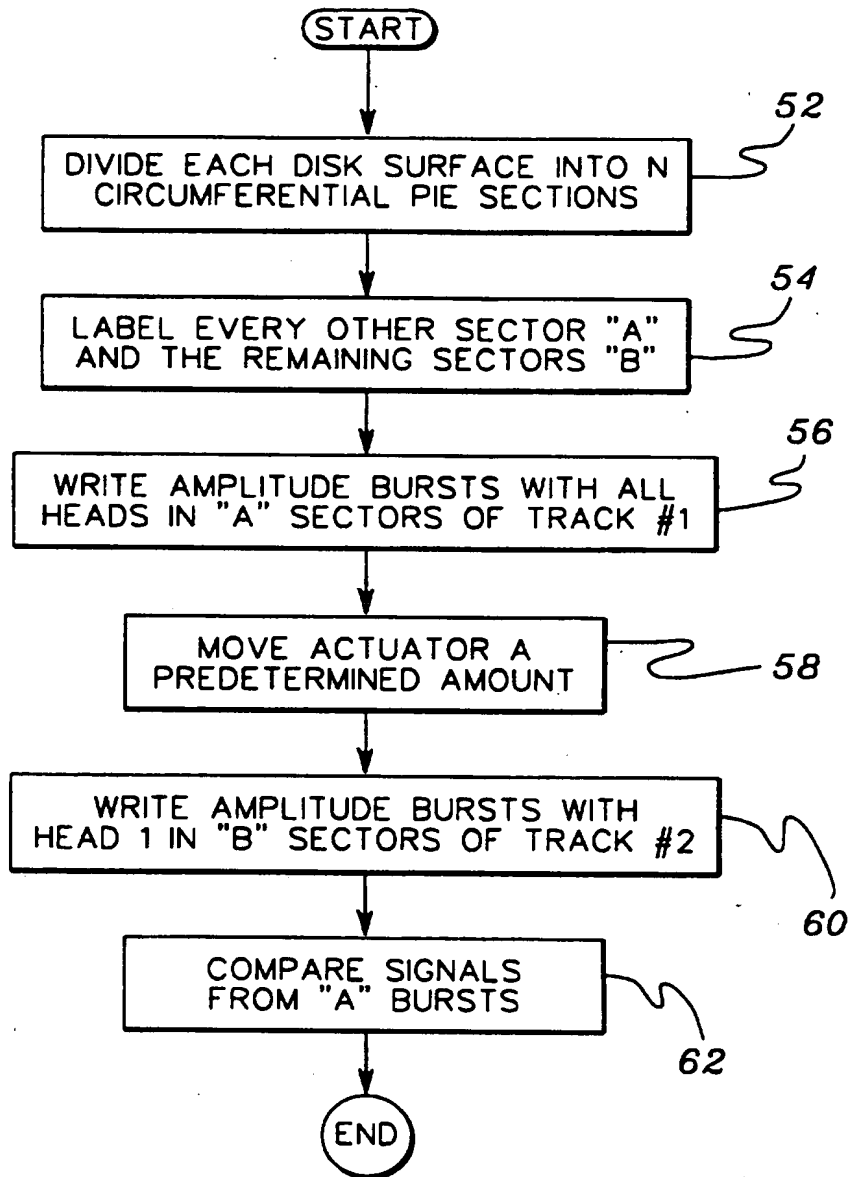
1/15



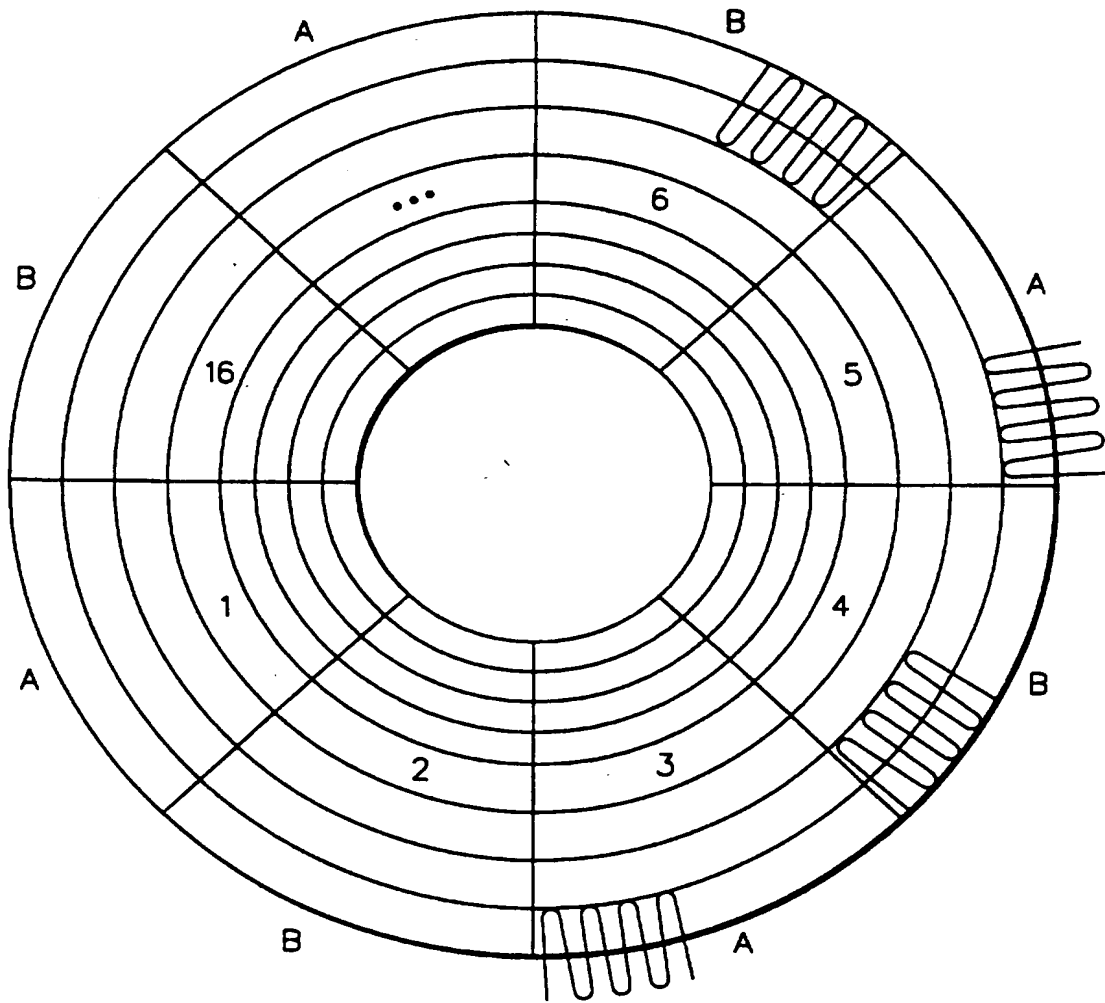


*fig. 2*

3/15

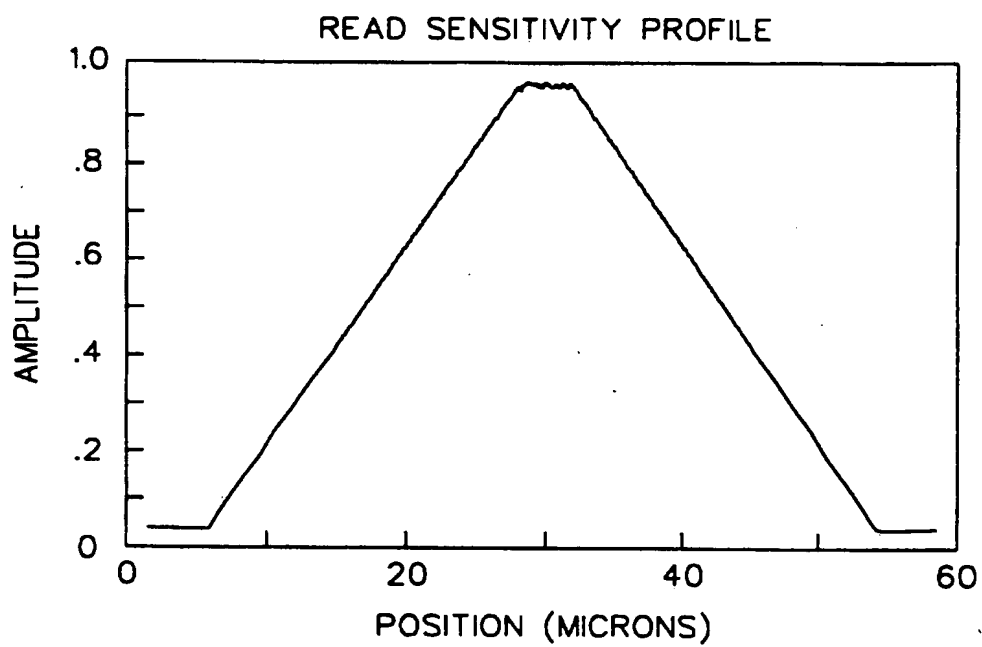
*fig. 3*

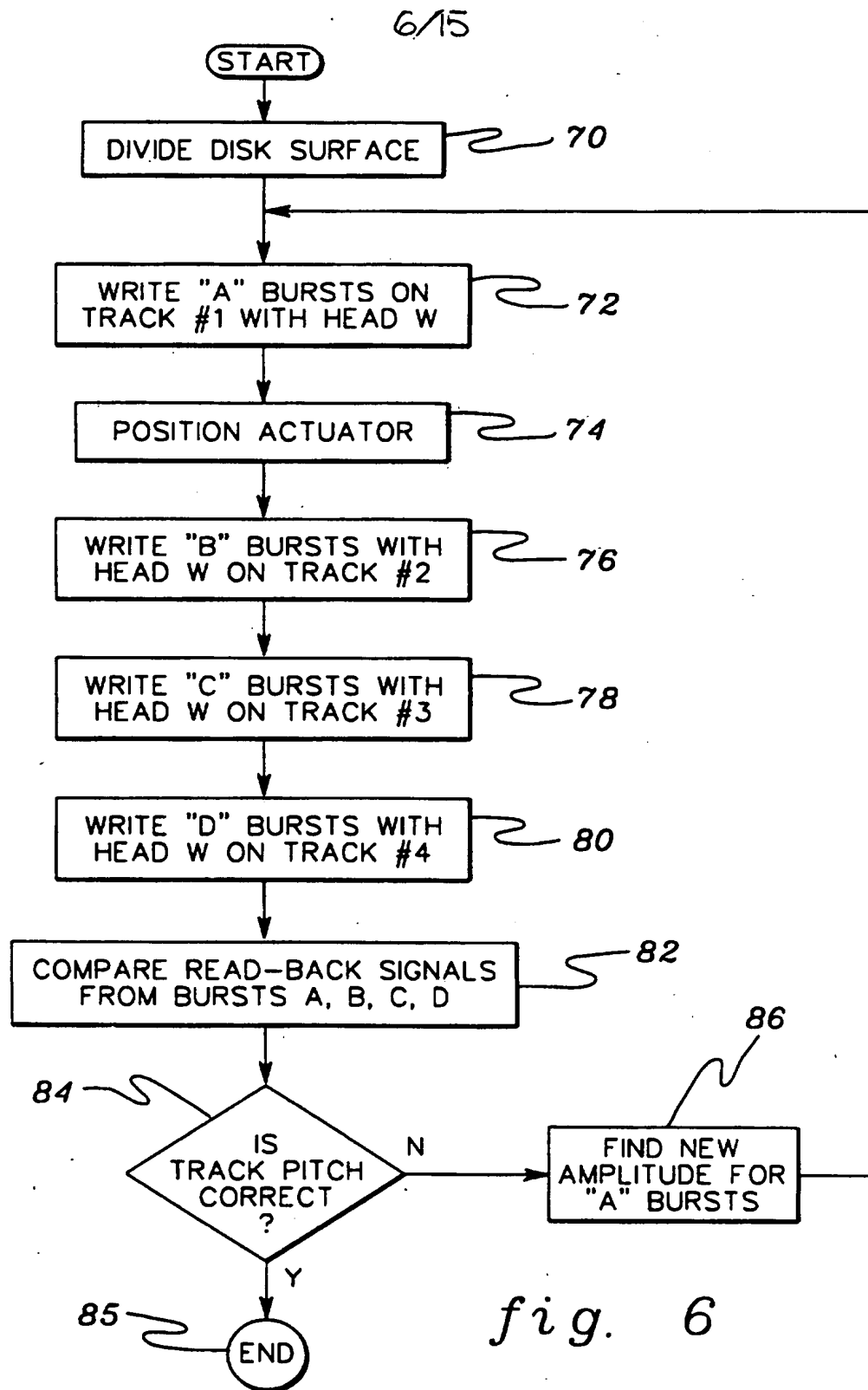
4/15



*fig. 4*

5/15

*fig. 5*



7/15

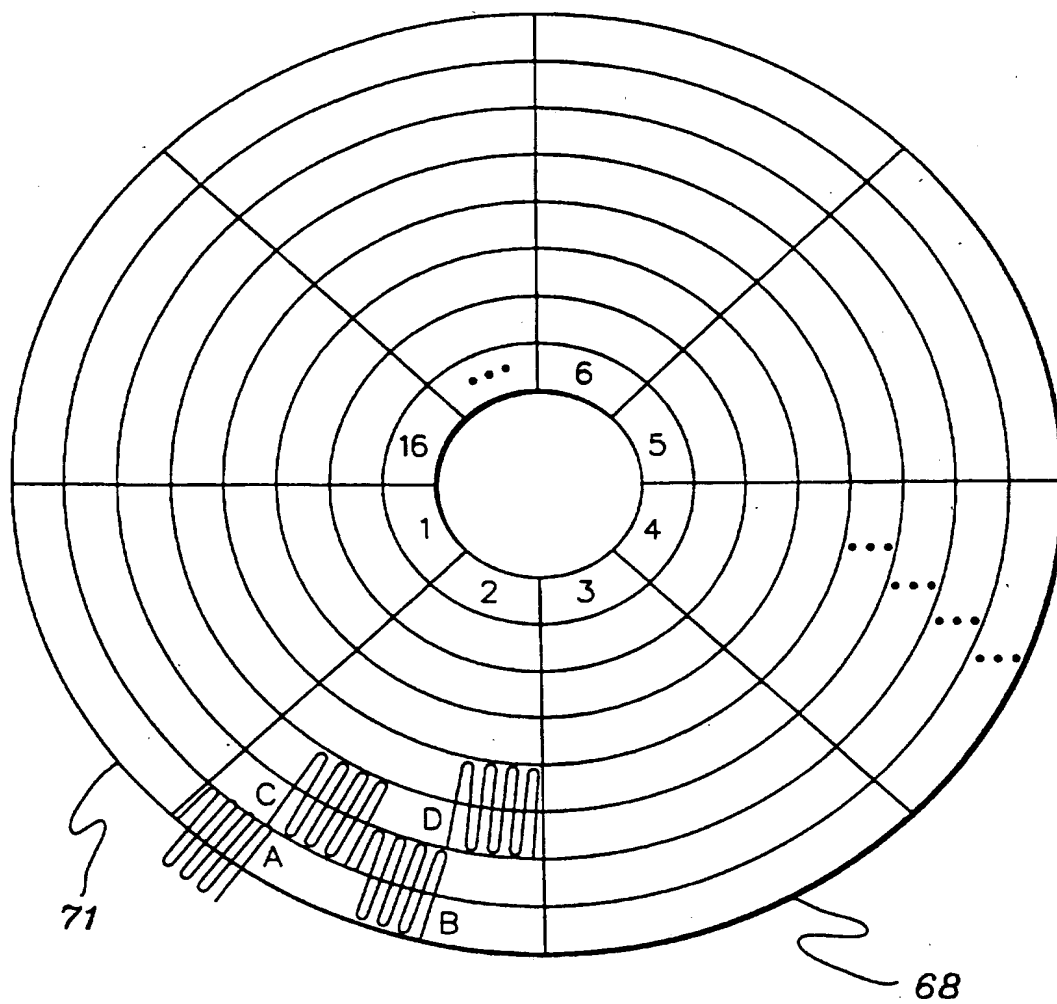


fig. 7

8/15

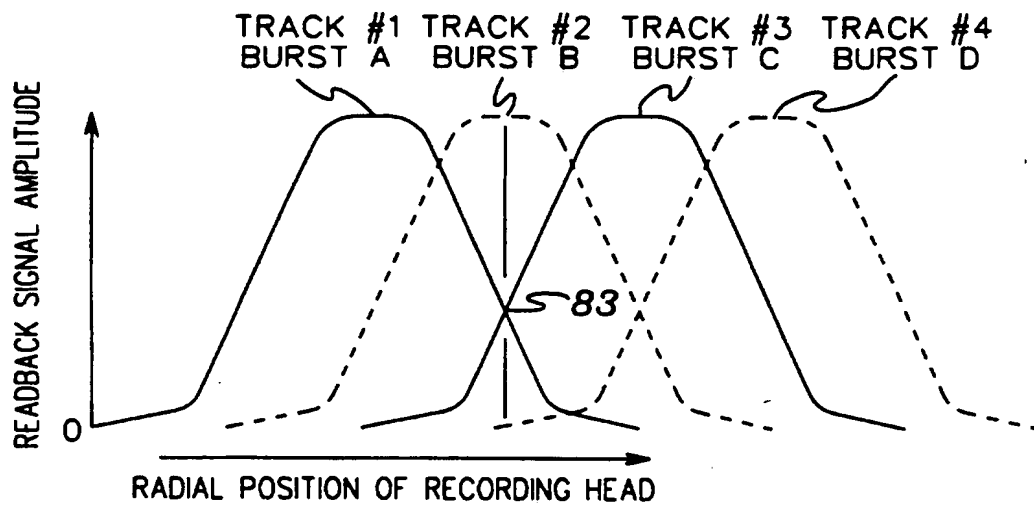


fig. 8

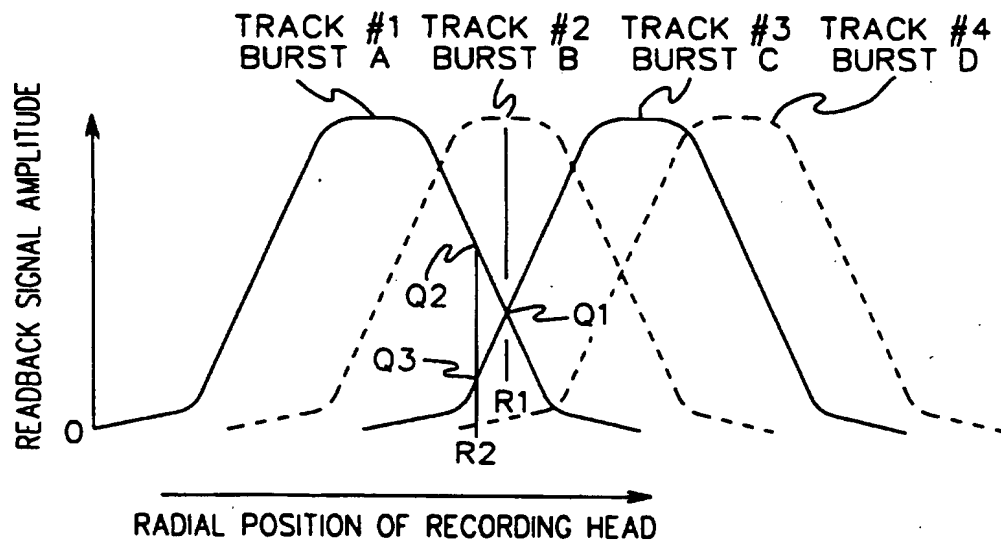


fig. 9

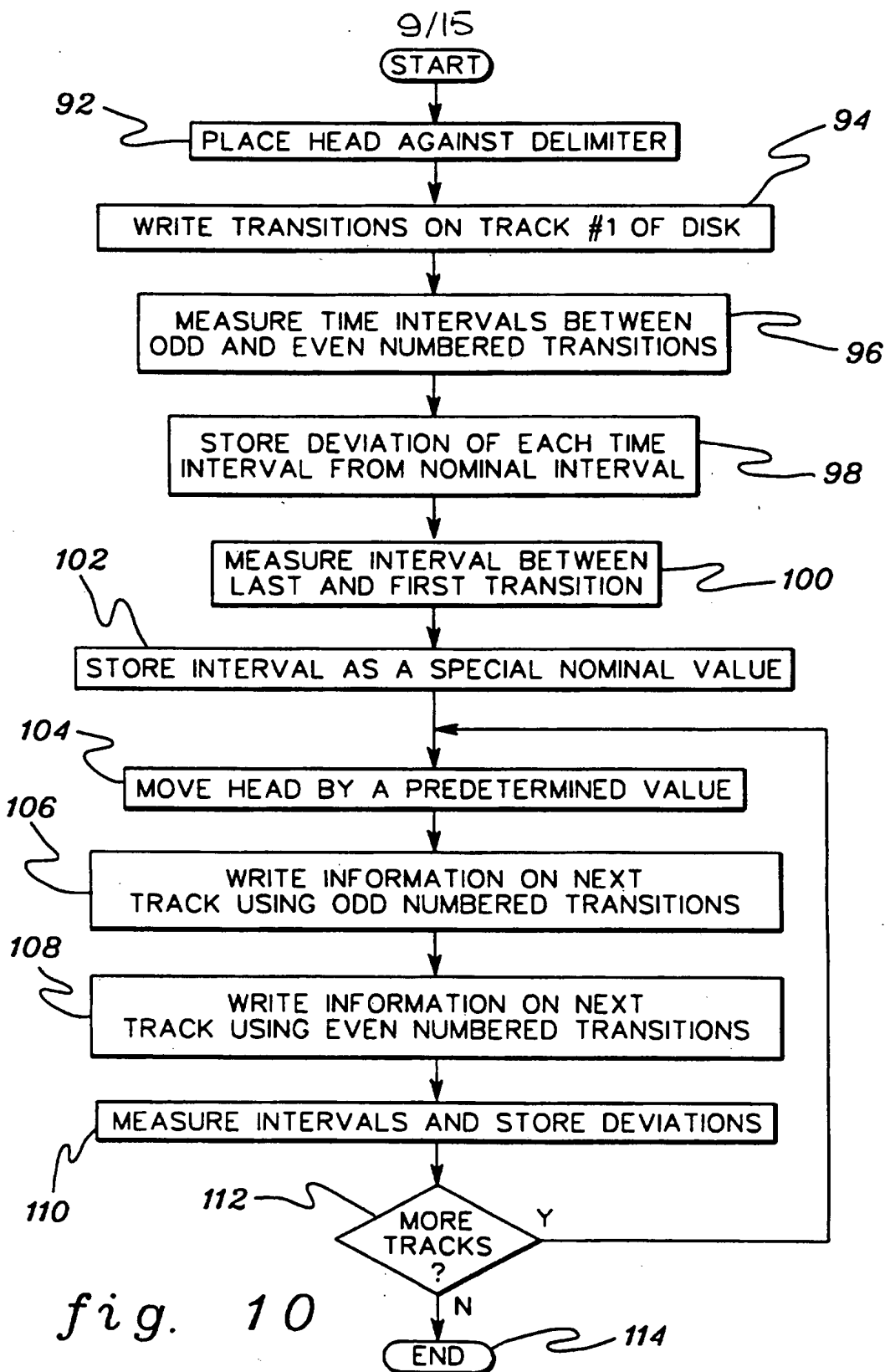
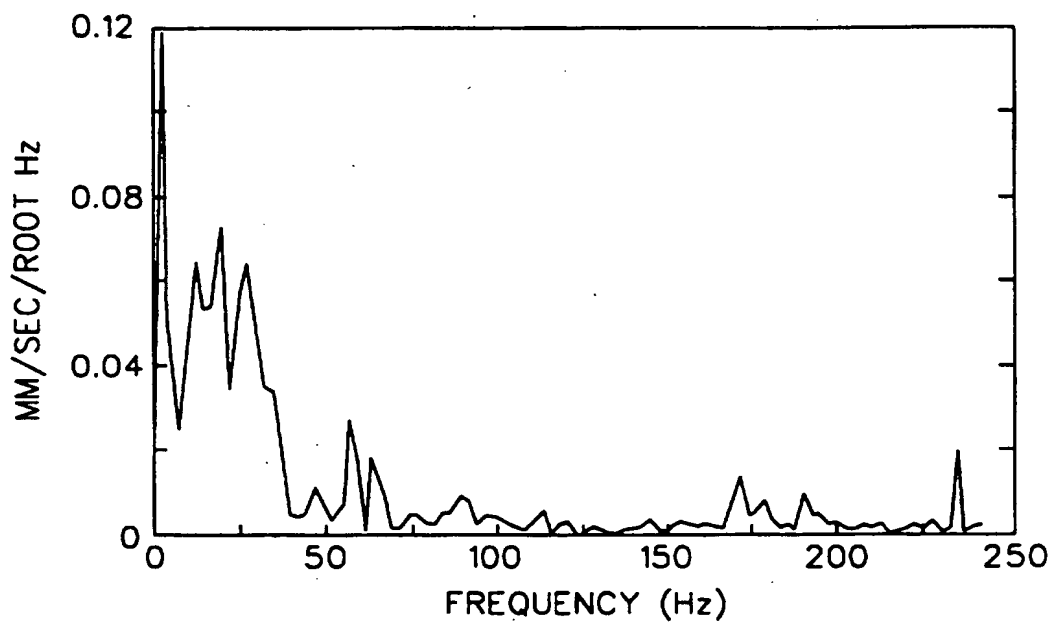
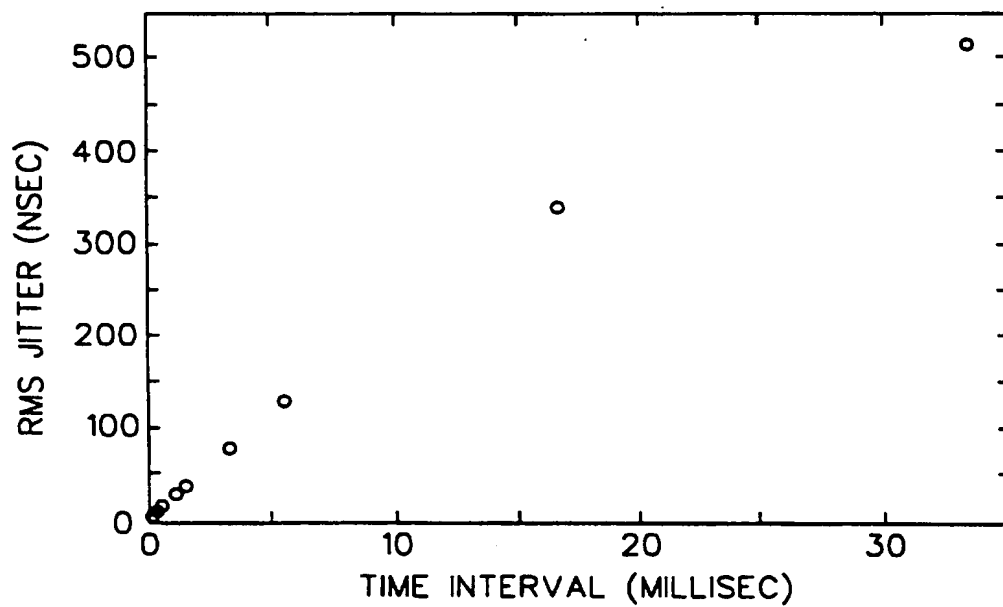
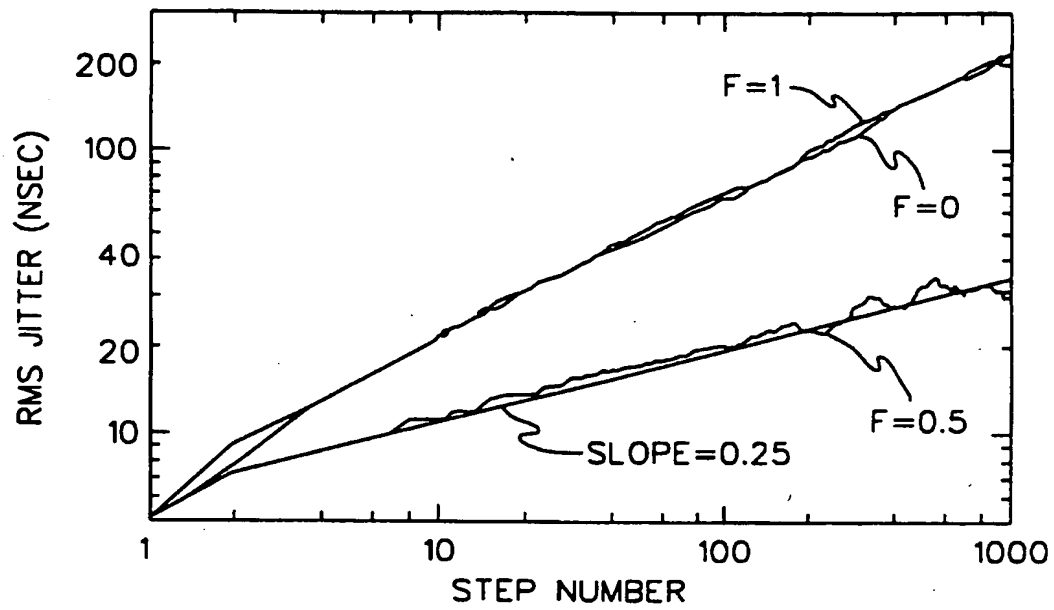
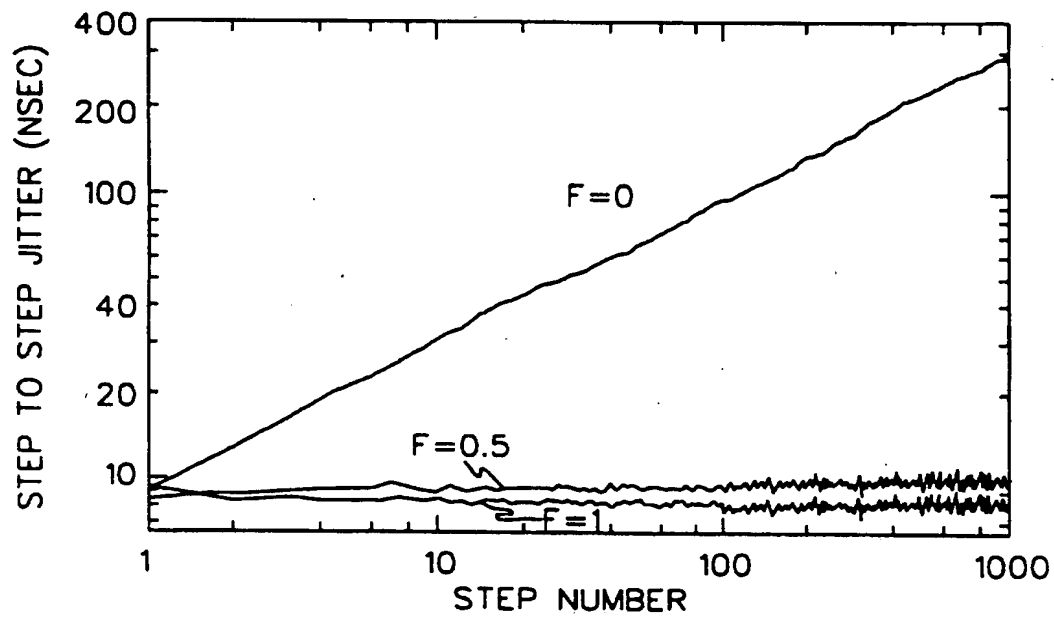


fig. 10

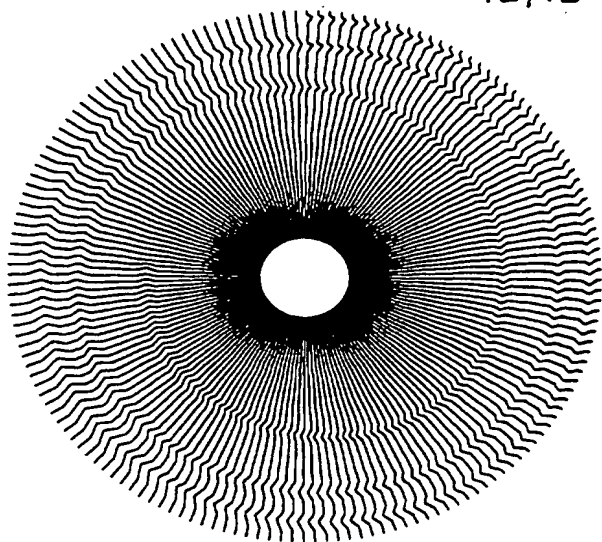
10/15

*fig. 11**fig. 12*

11/15

*fig. 13**fig. 15*

12/15

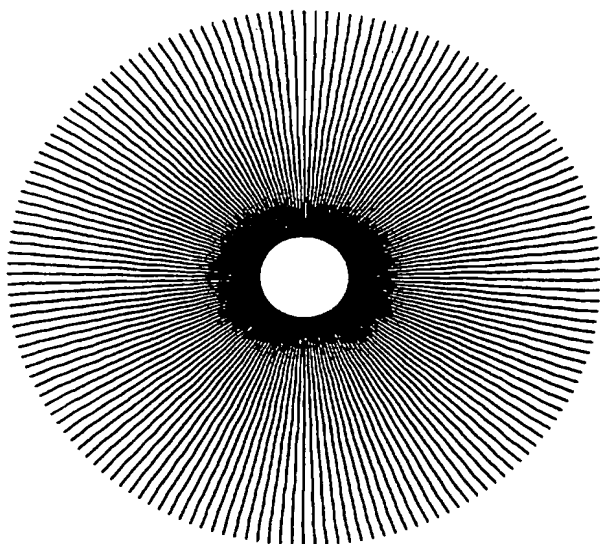
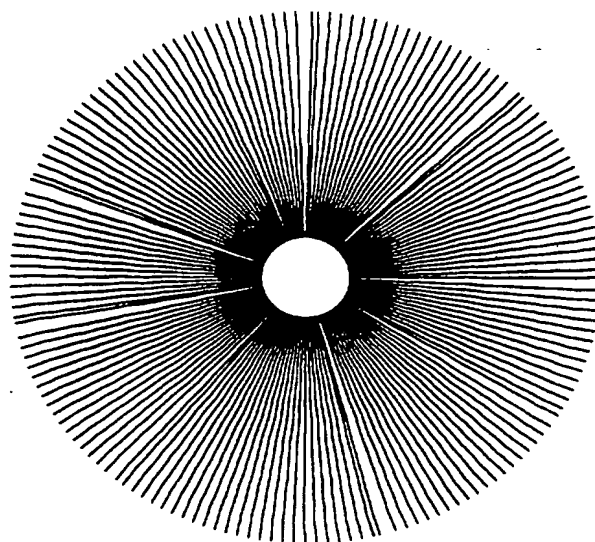


*fig. 14a*

$F=0$

*fig. 14b*

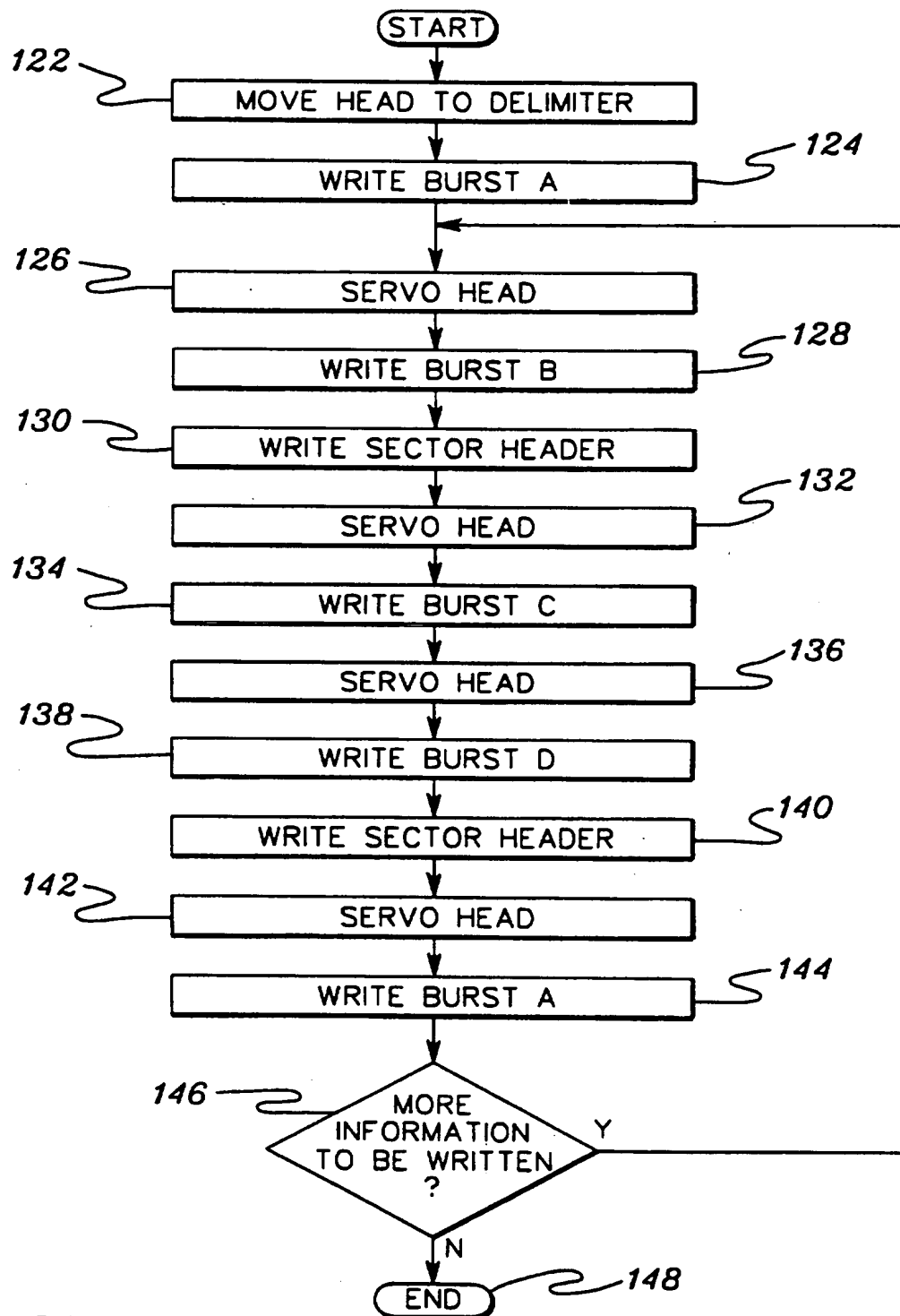
$F=1$

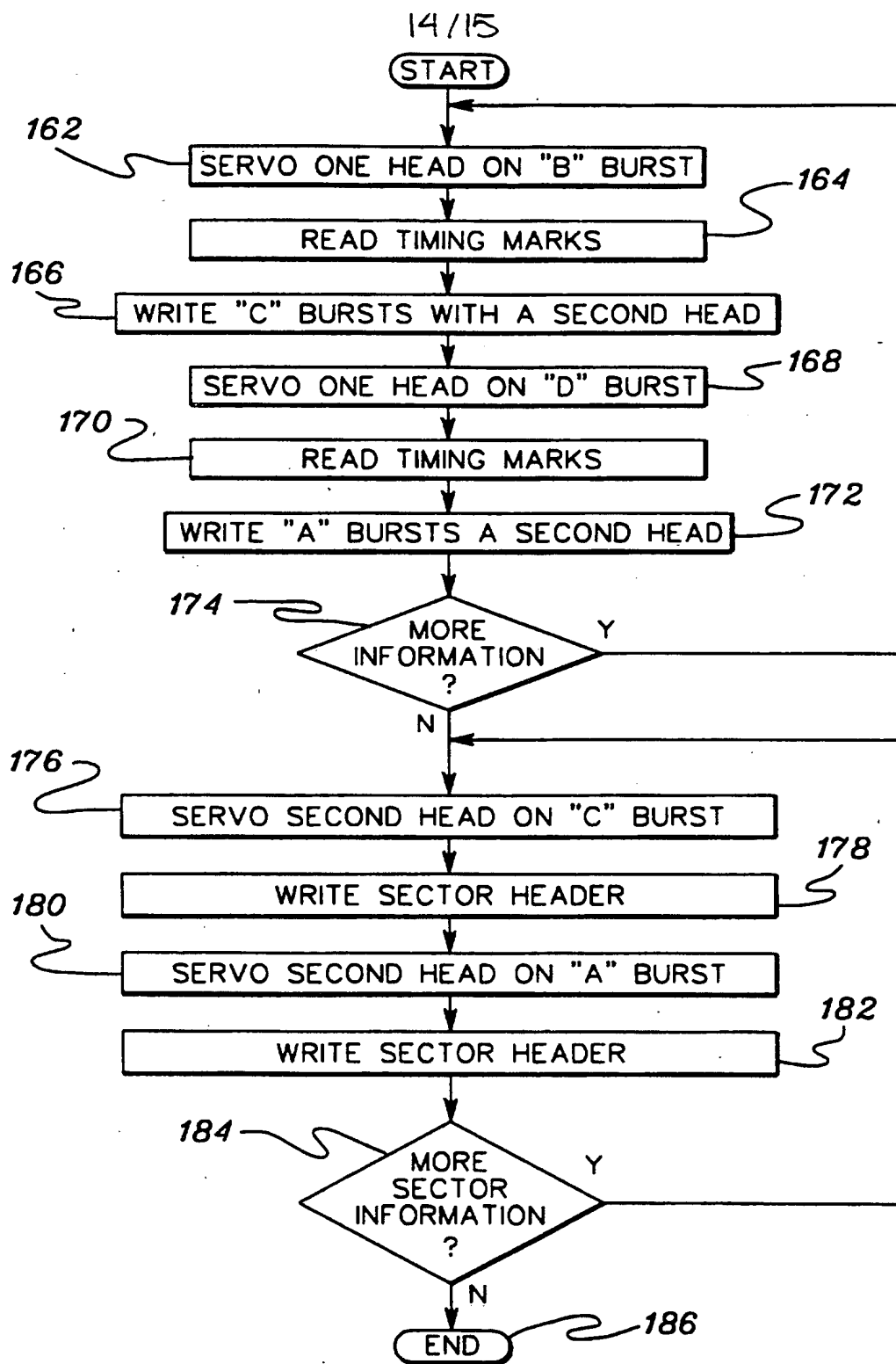


*fig. 14c*

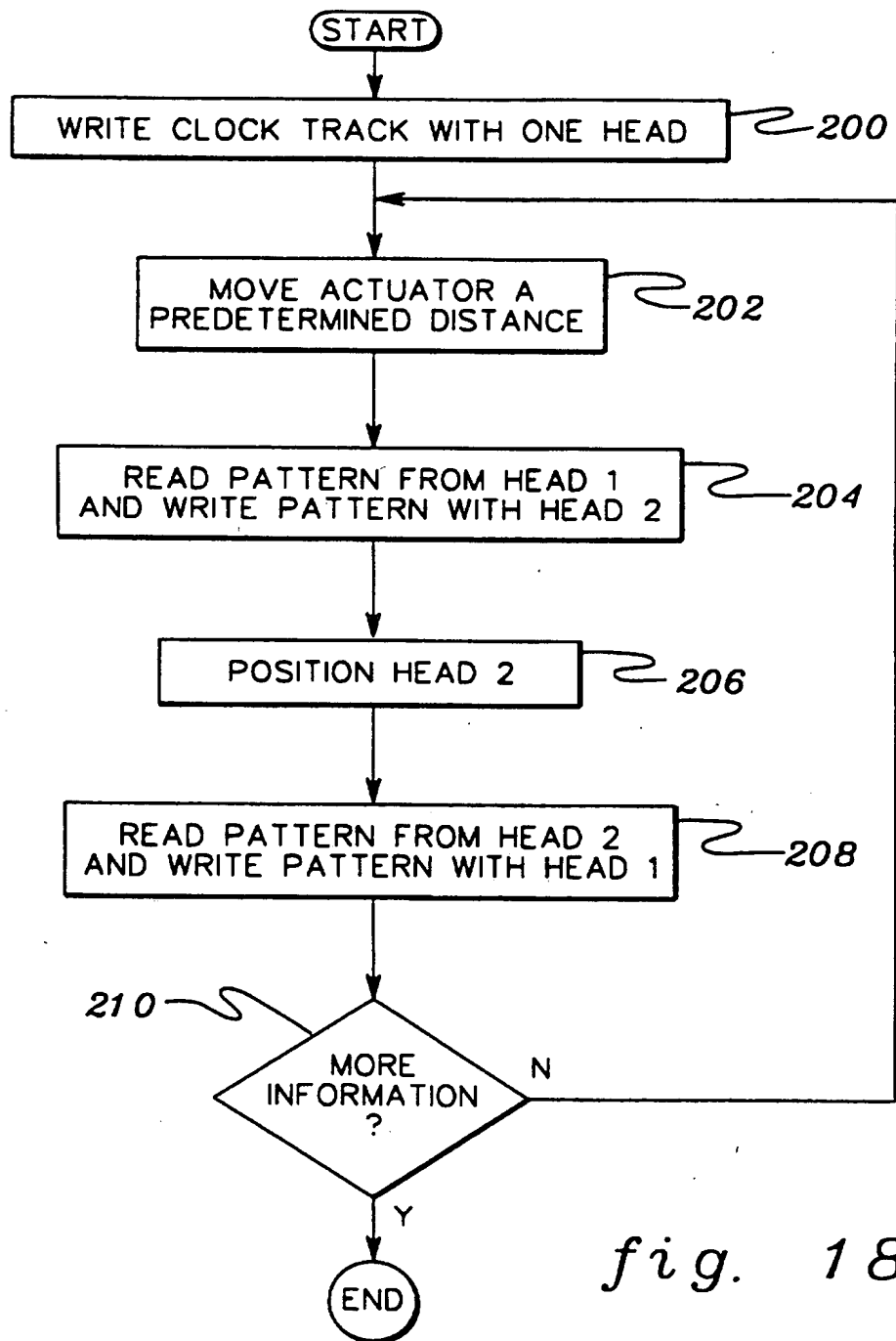
$F=0.5$

13/15

*fig. 16*

*fig. 17*

15/15

*fig. 18*

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No.  
PCT/US 95/03126

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 G11B5/596

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 G11B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB,A,2 280 302 (HITACHI) 25 January 1995 see page 9, line 17 - page 21, line 1; figures	1,29,56
A		2-28, 30-55, 57-69
A	EP,A,0 546 227 (IBM) 16 June 1993  see page 4, column 5, line 50 - page 6, column 10, line 31; figures -/--	1,11,17, 24,26, 29,39, 45,52, 54,56

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 December 1995

Date of mailing of the international search report

- 4. 01. 96

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Geoghegan, C

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In International Application No  
PCT/US 95/03126

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>EP,A,0 565 854 (HEWLETT-PACKARD) 20 October 1993</p> <p>see page 3, line 19 - page 5, line 19; figures</p> <p>---</p>	<p>1,11,17, 24,26, 29,39, 45,52, 54,56</p>
A	<p>WO,A,94 11864 (HARDISK TECH) 26 May 1994</p> <p>see page 8, line 11 - page 20, line 21; figures</p> <p>---</p>	<p>1,11,17, 24,26, 29,39, 45,52, 54,56</p>
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 15 no. 446 (P-1274) ,13 November 1991 &amp; JP,A,03 187012 (NEC) 15 August 1991, see abstract</p> <p>---</p>	<p>1,11,24, 26,29, 39,45, 52,54,56</p>
A	<p>PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14 no. 253 (P-1054) ,30 May 1990 &amp; JP,A,02 066718 (TOSHIBA) 6 March 1990, see abstract</p> <p>-----</p>	<p>1,11,24, 26,29, 39,45, 52,54,56</p>

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/US 95/03126

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB-A-2280302	25-01-95	JP-A- 7037344	07-02-95
EP-A-546227	16-06-93	NONE	
EP-A-565854	20-10-93	US-A- 5315456	24-05-94
		JP-A- 6318370	15-11-94
WO-A-9411864	26-05-94	US-A- 5448429	05-09-95

w 0161

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2921604号

(45) 発行日 平成11年(1999) 7 月19日

(24) 登録日 平成11年(1999) 4 月30日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 1 1 B 21/10

G 1 1 B 21/10

W

請求項の数55(全 29 頁)

(21) 出願番号 特願平8-513517

(86) (22) 出願日 平成7年(1995) 3 月13日

(65) 公表番号 特表平10-504128

(43) 公表日 平成10年(1998) 4 月14日

(86) 国際出願番号 P C T / U S 9 5 / 0 3 1 2 6

(87) 国際公開番号 W O 9 6 / 2 8 8 1 4

(87) 国際公開日 平成8年(1996) 9 月19日

審査請求日 平成9年(1997) 9 月12日

(73) 特許権者 999999999

インターナショナル・ビジネス・マシー  
ンズ・コーポレーション

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州  
アーモンク、オールド・オーチャード・  
ロード (番地なし)

(72) 発明者 チェイナー、テイモシイ、ジョセフ

アメリカ合衆国ニューヨーク州マホパッ  
ク、バレット ヒル ロード 161

(72) 発明者 ソーン、ウエイン、ジェイ

イスラエル国モディーン、デイ、エヌ、  
ネヴェ ツーフ (番地なし)

(74) 代理人 弁理士 坂口 博 (外1名)

審査官 西山 昇

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 記憶媒体にサーボ・パターンを書き込む方法およびシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 記録装置の記憶媒体に書き込むトラックの  
所望のトラック・ピッチを求める方法であって、  
複数のトラックの間隔が初期半径方向位置決め値によっ  
て決定される複数のトラックに遷移を書き込むステップ  
と、

前記複数のトラックのそれぞれに書き込まれた前記遷移  
に付随するリード・バック信号を入手するステップと、  
前記リード・バック信号の振幅に基づいてトラック・ピ  
ッチが適切か否かを判断し、適切でない場合にはその後  
のトラックを書き込むための第2の半径方向位置決め値  
を求めるステップとを含む方法において、  
前記書き込むステップが、

(a) 前記記録装置の記録ヘッドをデリミタに接して配  
置するステップと、

(b) 前記位置決めされた記録ヘッドを使用して、前記  
トラックの1つに遷移を書き込むステップと、

(c) 前記記録ヘッドを前記トラックのうちの他の1つ  
のトラックにある所定の場所に位置決めし直すステップ  
と、

(d) 前記位置決めし直された記録ヘッドを使用して、  
前記トラックのうちの前記他の1つのトラックに遷移を  
書き込むステップと、

(e) 前記複数のトラックのそれぞれに情報が書き込ま  
れるまでステップ(c)と(d)を繰り返すステップと  
を含み、

前記位置決めし直すステップ(c)の所定の場所が、  
前記記録ヘッドからの前記リード・バック信号が前記記  
録ヘッドの最大振幅の約半分である位置を含むことを特  
徴とする、方法。

【請求項 2】内部記録ヘッドを有する記録装置内にある記憶媒体上にサーボ・パターンを書き込む方法であって、  
前記内部記録ヘッドを使用して前記記憶媒体上にタイミング・パターンを生成するステップと、  
請求項 1 に記載の方法を使用して記憶媒体上に書き込むトラックの所望のトラック・ピッチを求めるステップと、  
前記内部記録ヘッドを使用して前記記憶媒体上の、前記タイミング・パターンと前記半径方向の位置決め値とによって求められた場所にサーボ・パターンを書き込むステップとを含む方法。

【請求項 3】前記記録装置が複数の内部記録ヘッドを含み、前記方法が前記複数の記録ヘッドのうちのどの記録ヘッドが最も広く書き込むかを判断するステップをさらに含むことを特徴とする、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】記録装置が複数の記憶媒体を含み、前記複数の記憶媒体のそれぞれがそれに付随する前記複数の内部記録ヘッドのうちの少なくとも 1 つの内部記録ヘッドを有し、前記複数の内部記録ヘッドのうちのどの内部記録ヘッドが最も広く書き込むかを判断する前記ステップが、  
前記複数の内部記録ヘッドのそれぞれによって第 1 の遷移を書き込むステップと、  
前記複数の内部記録ヘッドのうちの 1 つによって書き込まれた前記第 1 の遷移から半径方向の所定の距離に、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記 1 つによって第 2 の遷移を書き込むステップと、  
前記第 2 の遷移を使用して前記複数の内部記録ヘッドを位置決めするステップと、  
前記位置決めされた記録ヘッドによって、前記第 1 の遷移のそれぞれに付随する振幅信号を読み取って比較し、前記複数の内部記録ヘッドのうちのどの内部記録ヘッドが最も広く書き込むかを判断するステップとを含むことを特徴とする、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】前記所定の半径方向の距離が、前記第 2 の遷移を書き込むために使用される前記内部記録ヘッドのうちの前記 1 つの内部記録ヘッドのリード・バック信号がその最大振幅の約半分になる位置であることを特徴とする、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】最も広く書き込むと判断された前記内部記録ヘッドを使用して前記タイミング・パターンを生成することを特徴とする、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 7】最も広く書き込むと判断された前記内部記録ヘッドを使用して前記サーボ・パターンを書き込むことを特徴とする、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 8】前記生成するステップが、  
前記記憶媒体の複数のトラックのうちの第 1 のトラックに第 1 の複数の遷移を書き込むステップと、  
第 2 の複数の遷移の第 1 の部分のそれぞれを対応する第

1 の時間遅延で書き込み、前記第 2 の複数の遷移の第 2 の部分のそれぞれを対応する第 2 の時間遅延で書き込む、前記記憶媒体の前記複数のトラックの第 2 のトラックに前記第 2 の複数の遷移を書き込むステップとを含むことを特徴とする、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 9】前記第 1 の複数の遷移の各対の間の時間間隔を求めるステップと、  
求められた各時間間隔と所定の名目間隔との間の偏差の量を求めて前記第 1 の複数の遷移の各対が対応する所定の偏差の量を有するようにするステップとをさらに含む、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】前記第 1 の時間遅延のそれぞれが前記所定の名目間隔と前記第 1 の複数の遷移の対に関係する偏差の量との関数に基づいて求められ、前記第 2 の複数の遷移の前記第 1 の部分のそれぞれが前記第 1 の複数の遷移の前記対のうちの 1 対に対応することを特徴とする、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】前記第 1 の時間遅延のそれぞれが前記所定の名目間隔に前記第 1 の複数の遷移の対に関係する偏差の量の一部を加えた値を含み、前記第 2 の複数の遷移の前記第 1 の部分のそれぞれが前記第 1 の複数の遷移の前記対のうちの 1 対に対応することを特徴とする、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 12】前記複数の遷移の前記対が奇数番号の遷移と偶数番号の遷移とを含むことを特徴とする、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 13】前記記録装置が複数の内部記録ヘッドと複数の記録媒体を含み、各前記複数の記録媒体のそれぞれがそれに付随する前記複数の内部記録ヘッドのうちの少なくとも 1 つを有し、前記生成するステップが、  
前記複数の内部記録ヘッドのうちの第 1 の内部記録ヘッドを使用してタイミング・パターンを表す第 1 の複数の遷移を書き込むステップと、  
前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記第 1 の内部記録ヘッドと前記複数の内部記録ヘッドのうちの第 2 の内部記録ヘッドとを位置決めするステップと、  
前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めされた第 1 の内部記録ヘッドを使用して前記第 1 の複数の遷移を読み取り、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めされた第 2 の記録ヘッドを使用してタイミング・パターンを表す第 2 の複数の遷移を書き込むステップと、  
前記複数の内部記録ヘッドのうちの第 1 と第 2 の内部記録ヘッドを位置決めし直すステップと、  
前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めし直された第 2 の内部記録ヘッドを使用して前記第 2 の複数の遷移を読み取り、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めし直された第 1 の内部記録ヘッドを使用して第 3 の複数の遷移を書き込むステップとをさらに含むことを特徴とする、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 1 4】複数のトラックを有する記憶媒体上にタイミング・パターンを生成する方法であって、前記記憶媒体上の第 1 の半径方向位置に第 1 の複数の遷移を書き込むステップと、

前記第 1 の複数の遷移の選択された対の間の時間間隔を求めるステップと、

求められた各時間間隔と所定の名目間隔との間の偏差の量を求め、前記第 1 の複数の遷移の選択された各対が対応する求められた偏差の量を有するようにするステップと、

第 2 の複数の遷移のそれぞれが前記第 1 の複数の遷移のうちの先行する 1 つに続く対応する時間遅延で書き込まれ、前記対応する時間遅延が前記名目時間間隔と前記対応する求められた偏差の量の関数とによって求められ、その結果、前記第 1 の複数の遷移の書き込みに付随するランダムな誤差の伝播が前記第 2 の複数の遷移の書き込みにおいて低減され、それによって前記第 2 の複数の遷移を前記第 1 の複数の遷移のそれぞれと整列させる際のランダムな誤差が低減される、前記記憶媒体上の第 2 の半径方向位置に前記第 2 の複数の遷移を書き込むステップとを含む方法。

【請求項 1 5】時間間隔を求める時間ステップと、偏差の量を求める前記ステップと、前記複数のトラックのそれぞれについて第 2 の複数の遷移を書き込む前記ステップとを繰り返すステップをさらに含む、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 1 6】前記第 2 の複数の遷移が、各第 1 の部分に対応する第 1 の時間遅延で書き込まれる遷移の第 1 の部分と、各第 2 の部分に対応する第 2 の時間遅延で書き込まれる遷移の第 2 の部分とを含むことを特徴とする、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 1 7】前記第 1 の時間遅延のそれぞれが前記所定の名目間隔に前記第 1 の複数の遷移の対に関する偏差の量の一部を加えた値を含み、前記第 2 の複数の遷移の前記第 1 の部分が前記第 1 の複数の遷移の前記対のうちの 1 対に対応することを特徴とする、請求項 16 に記載の方法。

【請求項 1 8】前記第 1 の複数の遷移の対が奇数番号の遷移と偶数番号の遷移とを含むことを特徴する、請求項 16 に記載の方法。

【請求項 1 9】前記第 2 の複数の遷移の前記第 2 の部分が複数の奇数番号の遷移を表し、前記第 2 の時間遅延のそれぞれが所定の名目間隔を含むことを特徴とする、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 2 0】前記第 1 の半径方向位置に書き込まれた前記偶数番号の遷移をトリガ点として使用して、前記複数の奇数番号の遷移が書き込まれることを特徴とする、請求項 19 に記載の方法。

【請求項 2 1】前記第 2 の複数の遷移の前記第 1 の部分が複数の偶数番号の遷移を表し、前記第 1 の時間遅延の

それぞれが前記所定の名目間隔に前記第 1 の複数の遷移の対に関する偏差の量の一部を加えた値を含み、前記第 2 の複数の遷移の前記第 1 の部分のそれぞれが前記第 1 の複数の遷移の前記対のうちの 1 対に対応することを特徴とする、請求項 16 に記載の方法。

【請求項 2 2】前記第 1 の半径方向位置に書き込まれた前記奇数番号の遷移をトリガ点として使用して、前記複数の偶数番号の遷移が書き込まれることを特徴とする、請求項 21 に記載の方法。

【請求項 2 3】各記憶媒体がそれに付随する複数の内部記録ヘッドのうちの少なくとも 1 つの記録ヘッドを有する、複数の内部記録ヘッドを有する記録装置内にある複数の記憶媒体の 1 つにタイミング・パターンを生成する方法であって、

(a) 前記複数の内部記録ヘッドのうちの第 1 の内部記録ヘッドを使用して、タイミング・パターンを表す第 1 の複数の遷移を書き込むステップと、

(b) 前記複数の内部記録ヘッドのうちの第 1 の内部記録ヘッドと前記複数の内部記録ヘッドのうちの第 2 の内部記録ヘッドを位置決めするステップと、

(c) 前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めされた第 1 の内部記録ヘッドを使用して前記第 1 の複数の遷移を読み取り、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めされた第 2 の内部記録ヘッドを使用して第 2 の複数の遷移を書き込むステップと、

(d) 前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記第 1 と第 2 の内部記録ヘッドを位置決めし直すステップと、

(e) 前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めし直された第 2 の内部記録ヘッドを使用して前記第 2 の複数の遷移を読み取り、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めし直された第 1 の内部記録ヘッドを使用して第 3 の複数の遷移を書き込むステップとを含む方法。

【請求項 2 4】前記複数の記憶媒体のうちの前記 1 つの表面全体に前記タイミング・パターンが生成されるまでステップ (b) ないし (e) を繰り返すステップをさらに含む、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 2 5】前記位置決めし直すステップが、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記第 1 と第 2 の内部記録ヘッドを、前記第 1 の複数の遷移に付随する振幅信号がその最大値の約半分である場所に移動するステップを含むことを特徴とする、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 2 6】各記憶媒体がそれに付随する複数の記録ヘッドのうちの少なくとも 1 つの記録ヘッドを有する、複数の記憶媒体を有する記録装置の内の複数の記録ヘッドのうちのどの記録ヘッドが最も広く書き込むかを判断する方法であって、

前記複数の記録ヘッドのそれぞれを使用して第 1 の遷移を書き込むステップと、

前記複数の記録ヘッドの 1 つを使用して、前記複数の記

録ヘッドのうちの前記 1 つの記録ヘッドを使用して書き込まれた第 1 の遷移から所定の距離に第 2 の遷移を書き込むステップと、

前記第 2 の遷移を使用して前記複数の記録ヘッドのそれぞれを位置決めするステップと、

前記位置決めされた記録ヘッドを使用して前記第 1 の遷移のそれぞれに付随する振幅信号を読み取って比較し、それによって前記複数の記録ヘッドのうちのどの記録ヘッドが最も広く書き込むかを判断するステップとを含む方法。

【請求項 27】前記位置決めするステップが、前記第 2 の遷移を振幅信号に変換するステップを含むことを特徴とする、請求項 26 記載の方法。

【請求項 28】記録装置の記憶媒体上に書き込むトラックの所望のトラック・ピッチを求めるシステムであって、

複数のトラックの間隔が初期半径方向位置決め値によって決定される、複数のトラック上に遷移を書き込む手段と、

前記複数のトラックのそれぞれに書き込まれる前記遷移に付随するリード・バック信号を入手する手段と、

前記リード・バック信号の振幅に基づいてトラック・ピッチが適切か否かを判断し、適切でない場合はその後のトラックを書き込む第 2 の半径方向位置決め値を求める手段とを含むシステムにおいて、

前記書き込む手段が、

(a) 前記記録装置の記録ヘッドをデリミタに接して位置決めする手段と、

(b) 前記位置決めされた記録ヘッドを使用して、前記トラックのうちの前記複数のトラックの 1 つのトラックに遷移を書き込む手段と、

(c) 前記記録ヘッドを前記トラックのうちの他の 1 つのトラック上の所定の場所に位置決めし直す手段と、

(d) 前記位置決めし直された記録ヘッドを使用して、前記トラックのうちの前記他の 1 つのトラックに遷移を書き込む手段と、

(e) 前記複数のトラックのそれぞれに情報が書き込まれるまで、前記手段 (c) および (d) の操作を繰り返す手段とを含み、

前記位置決めし直す手段 (c) の所定の場所が、前記記録ヘッドからの前記リード・バック信号が前記記録ヘッドの最大振幅の約半分である位置を含むことを特徴とする、システム。

【請求項 29】内部記録ヘッドを有する記録装置内にある記憶媒体上にサーボ・パターンを書き込むシステムであって、

前記内部記録ヘッドを使用して前記記憶媒体上にタイミング・パターンを生成する手段と、

請求項 28 に記載のシステムを使用して記憶媒体上に書き込むトラックの所望のトラック・ピッチを求める手段

と、

前記内部記録ヘッドを使用して前記記憶媒体上の、前記タイミング・パターンと前記半径方向位置決め値とによって求められた場所にサーボ・パターンを書き込む手段とを含むシステム。

【請求項 30】前記記録装置が複数の内部記録ヘッドを含み、前記システムが前記複数の記録ヘッドのうちのどの記録ヘッドが最も広く書き込むかを判断する手段をさらに含むことを特徴とする、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 31】記録装置が複数の記憶媒体を含み、前記複数の記憶媒体のそれぞれがそれに付随する前記複数の内部記録ヘッドのうちの少なくとも 1 つの内部記録ヘッドを有し、前記複数の内部記録ヘッドのうちのどの内部記録ヘッドが最も広く書き込むかを判断する前記手段が、

前記複数の内部記録ヘッドのそれぞれによって第 1 の遷移を書き込む手段と、

前記複数の内部記録ヘッドのうちの 1 つによって書き込まれた前記第 1 の遷移から半径方向の所定の距離に、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記 1 つによって第 2 の遷移を書き込む手段と、

前記第 2 の遷移を使用して前記複数の内部記録ヘッドを位置決めする手段と、

前記位置決めされた記録ヘッドによって、前記第 1 の遷移のそれぞれに付随する振幅信号を読み取って比較し、前記複数の内部記録ヘッドのうちのどの内部記録ヘッドが最も広く書き込むかを判断する手段とを含むことを特徴とする、請求項 30 に記載のシステム。

【請求項 32】前記所定の半径方向の距離が、前記第 2 の遷移を書き込むために使用される前記内部記録ヘッドのうちの前記 1 つの内部記録ヘッドのリード・バック信号がその最大振幅の約半分になる位置であることを特徴とする、請求項 31 に記載のシステム。

【請求項 33】最も広く書き込むと判断された前記内部記録ヘッドを使用して前記タイミング・パターンを生成することを特徴とする、請求項 30 に記載のシステム。

【請求項 34】最も広く書き込むと判断された前記内部記録ヘッドを使用して前記サーボ・パターンを書き込むことを特徴とする、請求項 30 に記載のシステム。

【請求項 35】前記生成する手段が、前記記憶媒体の複数のトラックのうちの第 1 のトラックに第 1 の複数の遷移を書き込む手段と、

第 2 の複数の遷移の第 1 の部分のそれぞれが対応する第 1 の時間遅延で書き込まれ、前記第 2 の複数の遷移の第 2 の部分のそれぞれが対応する第 2 の時間遅延で書き込まれる、前記記憶媒体の前記複数のトラックの第 2 のトラックに前記第 2 の複数の遷移を書き込む手段とを含むことを特徴とする、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 36】前記第 1 の複数の遷移の各対の間の時間

間隔を求める手段と、

求められた各時間間隔と所定の名目間隔との間の偏差の量を求めて、前記第 1 の複数の遷移の各対が対応する求められた偏差の量を有するようにする手段とをさらに含む、請求項 35 に記載のシステム。

【請求項 3 7】前記第 1 の時間遅延のそれぞれが前記所定の名目間隔と前記第 1 の複数の遷移の対に関係する偏差の量との関係に基づいて求められ、前記第 2 の複数の遷移の前記第 1 の部分のそれぞれが前記第 1 の複数の遷移の前記対のうちの 1 つに対応することを特徴とする、請求項 36 に記載のシステム。

【請求項 3 8】前記第 1 の時間遅延のそれぞれが前記所定の名目間隔に前記第 1 の複数の遷移の対に関係する偏差の量の一部を加えた値を含み、前記第 2 の複数の遷移の前記第 1 の部分が前記第 1 の複数の遷移の前記対のうちの 1 対に対応することを特徴とする、請求項 36 に記載のシステム。

【請求項 3 9】前記複数の遷移の前記対が奇数番号の遷移と偶数番号の遷移を含むことを特徴とする、請求項 36 に記載のシステム。

【請求項 4 0】前記記録装置が複数の内部記録ヘッドと複数の記録媒体を含み、各前記複数の記録媒体のそれぞれがそれに付随する前記複数の内部記録ヘッドのうちの少なくとも 1 つを有し、前記生成する手段が、前記複数の内部記録ヘッドのうちの第 1 の内部記録ヘッドを有してタイミング・パターンを表す第 1 の複数の遷移を書き込む手段と、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記第 1 の内部記録ヘッドと前記複数の内部記録ヘッドのうちの第 2 の内部記録ヘッドとを位置決めする手段と、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めされた第 1 の内部記録ヘッドを使用して前記第 1 の複数の遷移を読み取り、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めされた第 2 の記録ヘッドを使用してタイミング・パターンを表す第 2 の複数の遷移を書き込む手段と、前記複数の内部記録ヘッドのうちの第 1 と第 2 の内部記録ヘッドを位置決めし直す手段と、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めし直された第 2 の内部記録ヘッドを使用して前記第 2 の複数の遷移を読み取り、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めし直された第 1 の内部記録ヘッドを使用して第 3 の複数の遷移を書き込む手段とをさらに含むことを特徴とする、請求項 29 に記載のシステム。

【請求項 4 1】複数のトラックを有する記憶媒体上にタイミング・パターンを生成するシステムであって、前記記憶媒体上の第 1 の半径方向位置に第 1 の複数の遷移を書き込む手段と、前記第 1 の複数の遷移の選択された対の間の時間間隔を求める手段と、求められた各時間間隔と所定の名目間隔との間の偏差の

量を求め、前記第 1 の複数の遷移の選択された各対が対応する求められた偏差の量を有するようにする手段と、第 2 の複数の遷移のそれぞれが前記第 1 の複数の遷移のうちの先行する 1 つに続く対応する時間遅延で書き込まれ、前記対応する時間遅延が前記名目時間間隔と前記対応する求められた偏差の量の関数とによって求められ、その結果、前記第 1 の複数の遷移の書き込みに付随するランダムな誤差の伝播が前記第 2 の複数の遷移の書き込みにおいて低減され、それによって前記第 2 の複数の遷移を前記第 1 の複数の遷移のそれぞれと整列させる際のランダムな誤差が低減される、前記記憶媒体上の第 2 の半径方向位置に前記第 2 の複数の遷移を書き込む手段とを含むシステム。

【請求項 4 2】時間間隔を求める前記手段の操作と、偏差の量を求める前記手段と、前記複数のトラックのそれぞれについて第 2 の複数の遷移を書き込む前記手段とを繰り返す手段とをさらに含む、請求項 41 に記載のシステム。

【請求項 4 3】前記第 2 の複数の遷移が、各第 1 の部分が対応する第 1 の時間遅延で書き込まれる遷移の第 1 の部分と、各第 2 の部分が対応する第 2 の時間遅延で書き込まれる遷移の第 2 の部分とを含むことを特徴とする、請求項 41 に記載のシステム。

【請求項 4 4】前記第 1 の時間遅延のそれぞれが前記所定の名目間隔と前記第 1 の複数の遷移の対に関係する偏差の量との関係に基づいて求められ、前記第 2 の複数の遷移の前記第 1 の部分のそれぞれが前記第 1 の複数の遷移の前記対のうちの 1 つに対応することを特徴とする、請求項 43 に記載のシステム。

【請求項 4 5】前記第 1 の複数の遷移の対が奇数番号の遷移と偶数番号の遷移とを含むことを特徴とする、請求項 43 に記載のシステム。

【請求項 4 6】前記第 2 の複数の遷移の前記第 2 の部分が複数の奇数番号の遷移を表し、前記第 2 の時間遅延のそれぞれが所定の名目間隔を含むことを特徴とする、請求項 45 に記載のシステム。

【請求項 4 7】前記第 1 の半径方向位置に書き込まれた前記偶数番号の遷移をトリガ点として使用して、前記複数の奇数番号の遷移が書き込まれることを特徴とする、請求項 46 に記載のシステム。

【請求項 4 8】前記第 2 の複数の遷移の前記第 1 の部分が複数の偶数番号の遷移を表し、前記第 1 の時間遅延のそれぞれが前記所定の名目間隔に前記第 1 の複数の遷移の対に関係する偏差の量の一部を加えた値を含み、前記第 2 の複数の遷移の前記第 1 の部分のそれぞれが前記第 1 の複数の遷移の前記対のうちの 1 対に対応することを特徴とする、請求項 43 に記載のシステム。

【請求項 4 9】前記第 1 の半径方向位置に書き込まれた前記奇数番号の遷移をトリガ点として使用して、前記複数の偶数番号の遷移が書き込まれることを特徴とする、

請求項48に記載のシステム。

【請求項50】各記憶媒体がそれに付随する複数の内部記録ヘッドのうちの少なくとも1つの記録ヘッドを有する、複数の内部記録ヘッドを有する記録装置内にある複数の記憶媒体の1つにタイミング・パターンを生成するシステムであって、

(a) 前記複数の内部記録ヘッドのうちの第1の内部記録ヘッドを使用して、タイミング・パターンを表す第1の複数の遷移を書き込む手段と、

(b) 前記複数の内部記録ヘッドのうちの第1の内部記録ヘッドと前記複数の内部記録ヘッドのうちの第2の内部記録ヘッドを位置決めする手段と、

(c) 前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めされた第1の内部記録ヘッドを使用して前記第1の複数の遷移を読み取り、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めされた第2の内部記録ヘッドを使用して第2の複数の遷移を書き込む手段と、

(d) 前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記第1と第2の内部記憶ヘッドを位置決めし直す手段と、

(e) 前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めし直された第2の内部記録ヘッドを使用して前記第2の複数の遷移を読み取り、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記位置決めし直された第1の内部記録ヘッドを使用して第3の複数の遷移を書き込む手段とを含むシステム。

【請求項51】前記複数の記憶媒体のうちの前記1つの表面全体に前記タイミング・パターンが生成されるまでステップ(b)ないし(e)を繰り返す手段をさらに含む、請求項50に記載のシステム。

【請求項52】前記位置決めし直す手段が、前記複数の内部記録ヘッドのうちの前記第1と第2の内部記録ヘッドを、前記第1の複数の遷移に付随する振幅信号がその最大値の約半分である場所に移動する手段を含むことを特徴とする、請求項50に記載のシステム。

【請求項53】各記憶媒体がそれに付随する複数の記録ヘッドのうちの少なくとも1つの記録ヘッドを有する、複数の記憶媒体を有する記録装置の内の複数の記録ヘッドのうちのどの記録ヘッドが最も広く書き込むかを判断するシステムであって、

前記複数の記録ヘッドのそれぞれを使用して第1の遷移を書き込む手段と、

前記複数の記録ヘッドの1つを使用して、前記複数の記録ヘッドのうちの前記1つの記録ヘッドを使用して書き込まれた第1の遷移から所定の距離に第2の遷移を書き込む手段と、

前記第2の遷移を使用して前記複数の記録ヘッドのそれぞれを位置決めする手段と、

前記位置決めされた記録ヘッドを使用して前記第1の遷移のそれぞれに付随する振幅信号を読み取って比較し、それによって前記複数の記録ヘッドのうちのどの記録ヘ

ッドが最も広く書き込むかを判断する手段とを含むシステム。

【請求項54】前記位置決めする手段が、前記第2の遷移を振幅信号に変換する手段を含むことを特徴とする、請求項53に記載のシステム。

【請求項55】記録装置内にある記憶媒体と、前記記憶媒体上にタイミング・パターンを生成し、前記内部記録ヘッドを半径方向に位置決めするために使用する半径方向位置決め値を求めるためのパターンを生成し、前記記憶媒体上にサーボ・パターンを書き込む、前記記録装置内の内部記録ヘッドとを含み、前記記録装置は請求項28に記載のシステムをさらに含むことを特徴とする記録装置。

【発明の詳細な説明】

技術分野

本発明は、一般には記録装置に関し、具体的には、外部センサを使用しない記憶媒体へのサーボ・パターンの書き込みに係わる。

背景技術

データ処理システムなどのシステム用の情報は一般に磁気ディスクなどの記憶媒体に記憶される。ディスクを製造する際、一般にはいくつかの内部ヘッドを有するディスク・ドライブをサーボライタと呼ばれるマスタリング機構に取り付ける。サーボライタは、書き込みヘッドに結合されたディスク表面上に磁気情報のパターンを書き込めるように、少なくとも1つのヘッドの半径方向および円周方向の位置を見つけ出す、ディスク・ドライブの外側に配置されたセンサを有する。このパターンは、通常の動作中にディスク・ドライブがデータ記憶のためにトラックとセクタを探し出すために使用するマスタ基準となる。

各ディスク・ドライブをサーボライタに直列に取り付けなければならないため、マスタリング機構上でサーボ書き込みを行うプロセスは高くつく。さらに、センサはアクチュエータとディスク・スピンドル・モータとにアクセスすることができなければならないため、ディスクの機械的境界条件が変更される。これには機械クランピングとファイルの分解が必要な場合がある。

サーボ情報を書き込む1つのプロセスについては、1983年11月8日に発行され、ノーザン・テレコム社に譲渡された「Embedded Servo Track Following System and Method for Writing Servo Tracks」という名称の米国特許第4414589号に記載されている。米国特許第4414589号では、移動する読み書きヘッドを磁気記憶ディスクに対して位置決めするサーボ・トラック追従システムが記載されている。半径方向の位置または情報トラックを識別するためにディスク上のセクタに複数のサーボ・トラックを記録する。固定クロック・トラック・ヘッドに1つのパルスを書き込み、移動するヘッド上に書き込まれた中間クロック・トラックに位相ロック・ループし、次に

固定クロック・トラック・ヘッドに書き込まれた最終クロック・トラックに位相ロック・ループすることによって、クロック・トラックを書き込む。次にヘッドを境界停止位置まで移動し、基準トラックを書き込むことによって、半径方向のトラック密度を決定する。その後、最終的な平均トラック密度に関係する所定の割合だけ基準トラックの振幅を縮小するのに十分な量だけヘッドをずらす。次に、別の基準トラックを書込み、再び所定の割合だけその第2の基準トラックの振幅を縮小するのに十分な量だけヘッドを再び第2の基準トラックからずらす。ディスクが基準トラックでいっぱいになるまでこれを続ける。このようにして得られた平均トラック密度が不満足な場合は縮小数値を調整し、このプロセスを繰り返す。

サーボ情報を書き込む他の技法は、1985年7月23日に発行され、バイオニア・リサーチ社に譲渡された「Servowriter System for Magnetic Disk Drives」という名称の米国特許第4531167号に記載されている。米国特許第4531167号では、ディスクにサーボ・トラックを書き込む前に、まず、ディスクに動作全体のタイミング基準の役割を果たすマスター・クロック・トラックを別個のヘッドで書き込む必要がある。次にディスクの表面全体にEVENサーボ情報を書き込むことによってディスクにサーボ・バーストを書き込む。これは、まず、アームを外側にクラッシュ・ストップまで移動し、次にディスク1回転ごとにアームを半径方向にデータ・トラック幅より少ない距離だけ移動させることによって行う。その後、アームを再び外側クラッシュ・ストップに接する位置まで駆動し、ヘッドによってディスク・ドライブのいくつかのセクタにODDサーボ情報が書き込まれるようにする。ODDサーボ情報の書込みに使用したアームがディスクの内径に達したら、アームが外側クラッシュ・ストップから内側クラッシュ・ストップまで進むのに要するステップ数、ディスク上に実際に必要なトラック数と比較する。実際のステップ数が実際に必要なトラック数と異なる場合、次の操作でステップ数がディスク上の必要トラック数と正確に等しくなるように、マイクロプロセッサによって求めた特定の偏り量を適用する。

上記の各手続きは、ヘッドの円周位置を判断する際に使用するタイミング・パターンを書き込むために、外部タイミング・センサを必要とする。さらに、外部センサが必要なために、クリーン・ルーム環境が必要である。さらに、後でサーボ・パターンの書込みに使用するトラック・ピッチを求めるために、ディスク全体の情報を書き込む。これは時間がかかり、高くつく。したがって、クリーン・ルーム環境が不要な、ディスク上にサーボ・パターンを書き込む技法が必要である。さらに、外部センサが不要なサーボ・パターンの書込み技法が必要である。さらに、どのヘッドが記録装置で最も幅の広いトラックを書き込むかを判断する方法が必要である。また、

ディスク全体の情報を書き込まずに記録装置のトラック・ピッチを判断する方法が必要である。さらに、外部クロック源をなくし、それによってサーボ・パターンを書き込むヘッドとクロック源との間の相対的な移動から生じる誤差の可能性を少なくするタイミング情報の書込み技法が必要である。

W094/11864には、複数のトラック上に遷移を書き込むステップを有し、トラックの間隔を初期半径方向位置決め値によって決定する、記録装置の記憶媒体に書き込むトラックの所望のトラック・ピッチを求める技法が記載されている。

#### 発明の開示

内部記録ヘッドを有する記録装置内に収容された記憶媒体上にサーボ・パターンを書き込む方法を提供することによって、従来の技術の欠点を克服し、追加の利点が得られる。内部記録ヘッドを使用して記憶媒体上にタイミング・パターンを生成し、内部記録ヘッドを半径方向に位置決めするために使用する半径位置決め値を求める。生成されたタイミング・パターンと半径位置決め値とによって求めた場所にサーボ・パターンを書き込む。

一実施例では、複数のトラックを有する記憶媒体上にタイミング・パターンを生成するために、複数のトラックのうちの最初のトラックに複数の遷移を書き込み、複数の遷移の各対の間の時間間隔を求め、求めた各時間間隔と所定の名目間隔との間の偏差を求め、複数のトラックのうちの2のトラックに複数の遷移を書き込む。複数の遷移の各第1の部分第1の部分を第1の所定の時間遅延時に書き込み、複数の遷移の各第2の部分を第2の所定の時間遅延時に書き込む。

他の実施例では、N個のトラックから成る記録媒体を有する記録装置のトラック・ピッチを求める。複数のN個のトラックのうちのいつくかに遷移を書き込み、書き込んだ各遷移に付随するリードバック信号を得て、そのリードバック信号を比較してトラック・ピッチを判断する。

他の実施例では、記録装置内の複数の記憶ヘッドのうちのどのヘッドが最も幅広いトラックを書き込むかを判断する。複数の記録ヘッドのそれぞれによって第1の遷移を書き込み、複数の記録ヘッドの1つによって第2の遷移を書き込む。第2の遷移は、第2の遷移と同じ記録ヘッドで書き込まれた第1の遷移から所定の距離に書き込む。各記録ヘッドを第2の遷移を利用して位置決めし、第1の遷移のそれぞれに付随する振幅信号を読み取り、位置決めされた記録ヘッドと比較する。この比較から、最も広く書き込む記録ヘッドを判断する。

他の実施例では、複数の内部記録ヘッドを有する記録装置内にある複数の記憶媒体のうちの1つの記憶媒体上にタイミング・パターンを生成する。複数の記憶媒体それぞれに、複数の内部記録ヘッドのうちの少なくとも1つが付随している。タイミング・パターンを表す第1の

複数の遷移を、複数の内部記録ヘッドのうちの第1の内部記録ヘッドで書き込む。複数の内部記録ヘッドのうちの第1および第2の内部記録ヘッドを位置決めする。位置決めされた第1の記録ヘッドで第1の複数の遷移を読み取り、位置決めされた第2のヘッドで第2の複数の遷移を書き込む。第1と第2の記録ヘッドを位置決めし直し、位置決めし直した第2の記録ヘッドで第2の複数の遷移を読み取り、位置決めし直した第1の記録ヘッドで第3の複数の遷移を書き込む。

本発明の他の態様では、記録装置内にある記憶媒体上にサーボ・パターンを書き込むシステムを提供する。このシステムは、内部記録ヘッドを使用して記憶媒体上にタイミング・パターンを生成する手段と、内部記録ヘッドを半径方向に位置決めするために使用する半径位置決め値を判断する手段と、内部記録ヘッドを使用して記憶媒体上にサーボ・パターンを書き込む手段とを備える。サーボ・パターンはタイミング・パターンと半径方向位置決め値とによって判断された場所書き込まれる。

本発明の他の態様では、記録装置を提供する。この記録装置は、記録装置内に位置決めされた記憶媒体と、記憶媒体上にタイミング情報とサーボ・パターンを書き込むための記録装置内の内部記録ヘッドとを備える。一実施例では、この記録装置を密封する。

本発明の技法により、外部センサやクリーン・ルーム環境を必要とせずに記録媒体上にボ・パターンを書き込むことができる。さらに、全ディスクの情報の書き込みを必要とせずに記録装置のトラック・ピッチを判断する技法を提供する。さらに、外部クロック源を必要とせずにタイミング・パターンを書き込む。本発明の技法により、以前よりも容易に、しかもより正確にタイミング情報とサーボ・パターンを書き込むことができる。

#### 図面の簡単な説明

本発明に関する主題については、本明細書の末尾にある請求の範囲で個々に示し、明確に請求する。本発明の上記およびその他の目的、特徴、および利点は、添付図面を参照しながら以下の詳細な説明を読めば明らかになる。

第1a図は、本発明のサーボ・パターン書き込み技法を組み込むディスク・ドライブの一実施例を示す図である。

第1b図は、本発明の原理による、複数の記録ディスクを有するディスク・ドライブの側面の一例を示す図である。

第2図は、本発明のサーボ・パターン書き込み技法に付随する論理の一例を示す図である。

第3図は、本発明の原理により最も幅広いトラックを書き込むヘッドを判断する技法に付随する論理の一例を示す図である。

第4図は、本発明の原理により、N個の円周方向パイ区分に分割されたディスク表面の一例を示す図である。

第5図は、本発明の原理による、信号振幅と記録ヘッ

ドのオフトラック位置との関係を示すグラフの一例を示す図である。

第6図は、本発明の原理による、トラック・ピッチを判断する技法に付随する論理の一実施例を示す図である。

第7図は、本発明の原理による、1区分に書き込まれた4つのバーストを持つN個の円周方向パイ区分に分割されたディスク表面の一例を示す図である。

第8図は、本発明の原理による、リードバック信号振幅と正しいトラック・ピッチがある記録ヘッドの半径方向の位置との関係を示すグラフの一例を示す図である。

第9図は、本発明の原理による、リードバック信号振幅と不適切なトラック・ピッチがある記録ヘッドの半径方向の位置との関係を示すグラフの一例を示す図である。

第10図は、本発明の原理による、第1図のディスク・ドライブ内に位置決めされたディスク上へのタイミング・パターンの書き込みに付随する論理の一実施例を示す図である。

第11図は、ディスク・ドライブの非反復速度ジッタ・スペクトル密度のグラフの一例を示す図である。

第12図は、第11図のディスク・ドライブのジッタと時間間隔との関係のグラフの一例を示す図である。

第13図は、本発明の原理による、rmsジッタとステップ番号との関係を示すグラフの一例を示す図である。

第14a図は、本発明の原理による、奇数番号の遷移から偶数番号の遷移を生成する際に名目時間間隔にはしたを加えない半径方向のタイミング・マーク軌跡を示す図である。

第14b図は、本発明の原理による、奇数番号の遷移から偶数番号の遷移を生成する際に名目時間間隔にはした1を加えた半径方向のタイミング・マーク軌跡を示す図である。

第14c図は、本発明の原理による、奇数番号の遷移から偶数番号の遷移を生成する際に名目時間間隔にはした1/2を加えた半径方向のタイミング・マーク軌跡を示す図である。

第15図は、本発明の原理による、半径方向のタイミング・マークに沿った位置決め誤差とステップ番号との関係を図示するグラフの一例を示す図である。

第16図は、本発明の原理による、1つのディスク面上へのサーボ・パターンの書き込みに付随する論理の一例を示す図である。

第7図は、本発明の原理による、第16図のサーボ・パターンを他のディスク面に伝播させる操作に付随する論理の一例を示す図である。

第18図は、本発明の原理による、2つのヘッドを使用してディスク表面上にタイミング情報を書き込む操作に付随する論理の一実施例を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明の原理により、記憶媒体上にサーボ・パターンを書き込む方法および装置を提供する。一実施例では、ディスク・ドライブなどの記憶装置内にある1つまたは複数の磁気ディスク上にサーボ・パターンを書き込む。第1a図および第1b図を参照すると、一実施例ではディスク・ドライブ10は1つまたは複数の磁気ディスク12a~12b（まとめて磁気ディスク12と呼ぶ）と、1つまたは複数の内部記録ヘッド14a~14d（まとめて記録ヘッド14と呼ぶ）と、サスペンション機構16と、アクチュエータ18と、アクチュエータ取付け部品20と、1つまたは複数のクラッシュ・ストップ22と、アクチュエータ駆動機構24と、読み書きコントローラ26と、コンピュータ28と、プログラマブル遅延発生機構30と、時間間隔測定システム32とを備える。これらの構成要素のそれぞれについては以下で詳述する。

各磁気ディスクはたとえば、情報を受け取ることができる2つの面を有し、各面は複数のトラック13を有する。本発明の原理によると、内部記録ヘッド14を使用して磁気ディスク12の1つまたは複数の面上にタイミング情報やサーボ・パターンなどの情報を書き込む。ディスク12の内径にスピンドル・モータ5（第1b図）があり、当技術分野で周知のように、磁気ディスク12を回転させるために使用する。第1a図に示すように、記録ヘッド14はサスペンション機構16に取り付けられている。

サスペンション機構16は、記録ヘッドが垂直方向に移動することができるようにし、アクチュエータ18に接続されている。アクチュエータ18は、たとえば、ボイス・コイル・モータ23に接続されたボール・ベアリング19を備えた標準の可動コイル・アクチュエータである。第1b図に示すように、モータ23は1つまたは複数の磁石21を備える。ボール・ベアリング19の各側に、クラッシュ・ストップ22があり、アクチュエータの可動範囲を制限するために使用される。アクチュエータ18はアクチュエータ取付け部品20を介してベース・プレート25に取り付けられている。一実施例では、アクチュエータ取付け部品20は1本または複数のねじを使用してアクチュエータをベース・プレートに取り付ける。

ワイヤ27aを介してベース・プレート25に結合されたアクチュエータ駆動機構24は、ボイス・コイル・モータ23に電流を供給するパワー・トランジスタなどの電子回路を備える。

ベース・プレート25にはワイヤ27bを介して読み書きコントローラ26も結合されており、後述するように本発明の原理によりディスク上の磁気遷移の読み書きを行うために使用される。

読み書きコントローラ26とアクチュエータ駆動機構24にはそれぞれバス29aおよび29bを介してコンピュータ28が結合されている。コンピュータ28にはたとえば、情報を保管する記憶装置を有する標準のパーソナル・コンピュータが含まれる。

コンピュータ28にはIEEEバス31を介してプログラマブル遅延発生機構30が結合されている。プログラマブル遅延発生機構30は、たとえばヒューレット・パッカートのHP8118Aであり、以下で詳述するように所与の遷移が書き込まれる時点を制御するために使用される。

コンピュータ28にはIEEEバス33を介して時間間隔測定システム32も結合され、本発明の原理により、必要な時間間隔を測定するために使用される。一実施例では、時間間隔測定システム32はヒューレット・パッカートを提供するHP5372Aタイム・アナライザを含む。

当業者なら、第1a図および第1b図に示すディスク・ドライブには多くの変形があり得ることがわかるであろう。たとえば、ディスク・ドライブはただ1つの磁気ディスクとただ1つの記録ヘッドを有することもできる。

本発明の原理によると、ディスク・ドライブ10を使用して磁気ディスク12のうちの1つまたは複数の磁気ディスク上にサーボ・パターンを書き込む。サーボ・パターンは1つまたは複数のディスク面上の特定の場所に書き込まれ、したがって、サーボ・パターンを書き込む前に、サーボ・パターンの書込みに使用する記録ヘッドの半径方向の位置決め情報と円周方向の位置決め情報（ $\theta$ ）を判断する。サーボ・パターンを書込む際に使用する技法の一実施例について以下に詳述する。

第2図を参照すると、一実施例では、ディスク・ドライブ10のどの記録ヘッドが最も広いトラックを書き込むかを判断する（ステップ50「最も広いヘッドを見つける」）。この実施例では、以下で詳述するように、最も広いトラックを書き込むヘッドがタイミング・パターンとサーボ・パターンの書込みに使用する望ましいヘッドである。記録ヘッドが1つしかない場合は、そのヘッドが最も広いトラックを書き込むヘッドである。最も広いヘッドを判断する方法について、第3図を参照しながら詳述する。

第3図を参照すると、本発明の原理により、ディスク・ドライブまたはその他の記憶装置のどの記録ヘッドが最も広いトラックを書き込むかを判断するために、ディスク・ドライブ内にある各ディスク面をN個の円周方向区分に分割する（ステップ52「各ディスク面をN個の円周方向区分に分割する」）。一実施例では、Nは16に設定され、したがってディスク面は第4図に示すように16個の円周方向区分に分割される。当技術分野で周知のように、ディスク面を分割するために、索引を使用して最初のセクタを識別する。その後、互いに所定の距離だけ離れた位置にパターンを書き込むことによって任意の数のセクタを画定することができる。

第3図および第4図を参照すると、各面をN個のセクタに分割した後、1セクタおきにAセクタとラベル付けし、残りのセクタにBセクタとラベル付けする（ステップ54「1セクタおきに“A”とラベル付けし、残りのセクタに“B”とラベル付けする」）。その後、アクチュエー

タ18をクラッシュ・ストップ22に接して保持しながら、各記録ヘッド14を使用してそれぞれのディスク面に振幅バースト（すなわち1つまたは複数の磁気遷移）を書き込む。具体的には、本発明の原理により、ディスク面の最初のトラックの各Aセクタに振幅バーストを書き込む（ステップ56「トラック#1のAセクタにすべてのヘッドを使用して振幅バーストを書き込む」）。

情報のバーストを書き込んだ後、アクチュエータ18を所定の距離だけ移動させる（ステップ58「アクチュエータを所定の量だけ移動する」）。一実施例では、この所定の距離はヘッド14aなどの記録ヘッドの信号振幅とヘッドのオフトラック位置との関係に基づく。振幅とオフトラック位置とのほぼ線形の関係の一例を、第5図に示す。第5図に示すように、振幅が最大値のとき、記録ヘッドはそのトラックの真上（すなわち30ミクロン）にあり、記録ヘッドがその最大振幅の半分の位置（すなわち約0.5）にあるとき、記録ヘッドはそのトラックからほぼ半分（すなわち15ミクロン）の位置にある。1つの事例では、ヘッド14aからのリードバック信号がその最大振幅の半分（すなわちトラックから半分）の位置になるまでアクチュエータを移動する。半分の振幅位置で、修正されたヘッド信号をサンプリングすることによって行われるサーボ制御を行いながら、ヘッド14aに対応するディスク面の第2のトラック上のBセクタにヘッド14aで振幅バーストを書き込む（ステップ60「トラック#2のBセクタにヘッド1で振幅バーストを書き込む」）。

第2のトラックから半径方向に移動することによって、Bバーストを使用して位置情報を供給することができる。たとえば、特定の間隔（振幅バースト）中にヘッドをゲート制御してBバーストに対応する磁気遷移から信号を読み取ることができる。サンプル・ホールド回路を使用して、バースト間の間隔中にリードバック信号の振幅に対応する電圧を一定に保持する。これによって、適切な位置信号がサーボ・ループに入力され、アクチュエータが位置決めされる。一実施例では、リードバック信号の所与の振幅をサーボ制御するときに、低帯域幅によるサーボ制御ループを使用する。そうすると、ヘッド位置は磁気サーボ信号の反復的变化に従うのではなく、全セクタ・バーストの平均になる。Bバーストの振幅をサーボ・システムの位置信号（すなわちサーボ・オン）として使用して、ディスク・ドライブのすべての記録ヘッドの下でAバーストからの振幅信号を読み取って比較する（ステップ62「Aバーストからの信号を比較する」）。一実施例では、電圧計やディジタル・オシロスコープなどの標準測定手段を使用してAバーストからの信号の読み取りと比較を行う。信号が1つのヘッドを除くすべてのヘッドから失われた点で、そのヘッドが最も広いトラックを読み書きするヘッドであると判断される。

上述の実施例では複数のAバーストおよびBバースト

を使用するが、1つのAバーストと1つのBバーストのみを使用することも可能である。

第2図に戻って説明すると、一実施例では、最も広いトラックを書き込むヘッド（以下ヘッドWと呼ぶ）を判断した後、本発明の原理に従ってそのヘッドを使用してディスク・ドライブのトラック・ピッチを求める（ステップ64「トラック・ピッチを求める」）。

第6図および第7図を参照すると、一実施例では、ディスク・ドライブのトラック・ピッチを求めるために、ヘッドWに対応するディスク面をN個の円周方向のパイ区分に分割する（ステップ70「ディスク面を分割する」）。第7図に示すように、一実施例ではディスク面を16個の区分68に分割し、各区分68は複数のトラック71を有する。典型的には、ディスク面は1インチ当たり約4000トラックのトラック密度（すなわちデータ・トラックの幅がトラックの幅の2倍であって、1つのデータ・トラックが他のデータ・トラックに重ならない2000本のデータ・トラック）を有する。

再び第6図を参照すると、ディスク面を分割した後、アクチュエータ18をクラッシュ・ストップに接して保持し、ヘッドWを使用して各区分の最初のトラックに振幅バースト（Aバーストと呼ぶ）を書き込む（ステップ72「ヘッドWでトラック#1にAバーストを書き込む」）

（第7図参照）。（他の実施例では、最も広いトラックを書き込むヘッド以外のヘッドを使用して最初のトラックにAバーストを書き込むこともできる。さらに、最初のトラック以外のトラックにバーストを書き込むこともできる。）振幅バーストを書き込んだ後、たとえば最も広いトラックを書き込むヘッドからの振幅が最大振幅の半分になるか、またはトラック間に適切な間隔ができると推測される振幅になるように、アクチュエータ18を所定の距離だけ移動させる（ステップ74「アクチュエータを位置決めする」）。

アクチュエータを位置決めした後、アクチュエータをその位置に保持し、各区分の第2のトラックにBバーストを書き込む（ステップ76「ヘッドWを使用してトラック#2にBバーストを書き込む」）。同様に、Bバーストをサーボ・オンにすることによって各区分の第3のトラックにCバーストを書き込み（ステップ78「ヘッドWを使用してトラック#3にCバーストを書き込む」）、Cバーストをサーボ・オンにして各区分の第4のトラックにDバーストを書き込む（ステップ80「ヘッドWを使用してトラック#4にDバーストを書き込む」）。

最も広いトラックを書き込むヘッドを使用してトラックに4つバースト（A、B、C、およびDバースト）を書き込んだ後各バーストからのリード・バック信号を比較することによってトラック・ピッチを求めることができる（ステップ82「バーストA、B、C、Dからのリード・バック信号を比較する」）。トラック・ピッチが所望のレベルの場合、ヘッドWが第2のトラック上の中心

にあるときに、Bバーストからのリード・バック信号が最大値であり、第4のトラックからの振幅信号はない。すなわち、トラック・ピッチがヘッド幅と等しい場合、Dバーストからの振幅は、オントラック振幅より $-40\text{dB}$ 下のように、ゼロに近くなるように設定されたしきい値より下になる。さらに、AバーストとCバーストの両方からの信号は、第2のトラックを書き込んだときにサーボされた振幅と等しい。上述の例を第8図に示す。第8図では参照番号83の位置でBバーストの振幅が最大であり、Dバーストの振幅がゼロに近く、バーストAとバーストCの振幅が等しい。

トラック・ピッチが適切な場合（問い合わせ84「トラック・ピッチは適切か？」）、このプロセスは終了し、バーストBを書き込んだときにサーボされたバーストAからの振幅の値（ $Q1$ と呼ぶ）を後述のように使用して、サーボ・パターンを書き込む（ステップ85「終了」）。しかし、リードバック信号が第9図に示すようである場合は、トラック・ピッチは大きすぎ、後述のようにAバーストの新しい振幅を求める（ステップ86「Aバーストの新しい振幅を求める」）。

具体的には、第9図を参照すると、 $Q1$ はバーストBが書き込まれたときにサーボされたバーストAからの振幅を示す。その位置（ $R1$ ）で、バーストDからの信号はまだゼロに近くない。バーストAからの信号が $Q2$ に等しい新しい位置 $R2$ にサーボすることによって、バーストDからの信号がゼロに近い事前定義されたしきい値まで下がる。この位置で、バーストCからの信号は $Q3$ に等しい。したがって、トラック・ピッチが大きすぎる場合は常に、 $Q2 > Q1 > Q3$ という結果になる。同様に、トラック・ピッチが小さすぎる場合は、 $Q2 < Q1 < Q3$ となる。

前述のように、トラック・ピッチが不適切な場合はAバーストの新しい振幅 $Q1_{\text{new}}$ を求める。一実施例では、振幅が $Q1$ である領域リードバック信号が線形の場合、Aバーストの新しい振幅を求めるために、以下の式を使用することができる。

$$Q1_{\text{new}} = 1/2 (Q3 + Q1_{\text{old}})$$

第6図に戻って参照すると、 $Q1_{\text{new}}$ を求めた後、流れはステップ72「ヘッドWを使用してトラック#1にAバーストを書き込む」に移る。（本明細書では $Q1$ または $Q1_{\text{new}}$ を半径方向位置決め値と呼ぶ。）Aバーストを書き込んだ後、最も広いトラックを書き込むヘッドからの振幅が $Q1_{\text{new}}$ に等しい値になるようにアクチュエータを位置決めする（ステップ74「アクチュエータを位置決めする」）。この位置で、最も広いトラックを書き込むヘッドを使用して第2のトラックにBバーストを書き込む。その後、流れは前述のように続く。

他の実施例では、 $Q1$ または $Q1_{\text{new}}$ の値がすべてのトラックについて名目上一定している場合であっても、事前選定したトラック数ごとに $Q1$ または $Q1_{\text{new}}$ の値を更新する。

以下で詳述するように、オントラック振幅の比率を表す $Q1$ または $Q1_{\text{new}}$ の値を使用してサーボ・パターンを書き込む。しかし、第2図に戻って参照すると、サーボ・パターンを書き込む前に、パターンを配置する円周方向の位置を示すタイミング・マークを生成する（ステップ90「タイミング・マークを生成する」）。一実施例では、タイミング・パターンは本発明の原理により生成される磁気遷移の1組の等間隔の半径方向のタイミング・マークから成る。タイミング・パターンと後述するサーボ・パターンは、密閉されたディスク・ドライブ内の内部記録ヘッドを使用して書き込むことができる。外部センサは不要である。

第10図を参照すると、ディスク12上にタイミング・パターンを書き込む一技法が詳述されている。一実施例では、タイミング・パターンを書き込むために使用する内部記録ヘッドは最も広いトラックを書き込むヘッドである。最初に、ヘッドWに付随するディスク（以下ディスクWと呼ぶ）の最も内側のトラック位置でデリミタ（すなわちクラッシュ・ストップ22）に接してヘッドWを配置する（ステップ92「ヘッドをデリミタに接して配置する」）。ヘッドをこの場所に配置した状態で、ディスクの完全な1回転にわたる等時間間隔でディスク面上に一連の遷移または遷移の一連のバースト（たとえば磁気遷移）を書き込む（ステップ94「ディスクのトラック#1に遷移を書き込む」）。一実施例では、ディスクは $60\text{rpm}$ で回転し、 $92.56\text{マイクロ秒}$ の時間間隔を選定してディスクWの1トラックに180バーストの遷移が書き込まれるようにする。これらの180バーストの遷移は、各対がそれぞれ奇数番号の遷移と偶数番号の遷移を含む遷移の対と考えることができる。たとえば、1対の遷移のバーストは、バースト1と2を含む。他の対はバースト3と4を含み、以下同様である。

遷移を書き込んだ後、具体的にはディスクWの次の回転時に、各奇数番号と偶数番号のバーストの遷移（1-2、3-4など）の間の時間間隔を測定する（ステップ96「奇数番号と偶数番号の遷移の間の時間間隔を測定する」）。一実施例では、この時間間隔を測定するために、時間間隔測定システム32を使用する。各時間間隔を測定した後、コンピュータ28を使用して名目間隔（たとえば $92.56\text{マイクロ秒}$ ）からの各時間間隔の偏差を求める。具体的には、コンピュータ28は偏差を求めるために名目間隔から各時間間隔を引き、それらの偏差をコンピュータ28の記憶装置内に記憶する（ステップ98「名目間隔からの各時間間隔の偏差を記憶する」）。

一実施例では、遷移180と遷移1との間の時間間隔の特別な名目値を求める（ステップ100「最後の遷移と最初の遷移の間の間隔を測定する」）。この特別な名目間隔を作成するのは、遷移180と遷移1が $92.56\text{マイクロ秒}$ の名目間隔からの偏差が比較的大きい（すなわち数ナノ秒ではなくマイクロ秒単位である）ためである。これは、

遷移180と遷移1が、92.56マイクロ秒の間隔ではなく16.67ミイ秒の間隔において書き込まれることによる。特別名目値を求めた後、それを遷移180と遷移1との間の間隔として使用するために、コンピュータの記憶装置に記憶する（ステップ102「間隔を特別名目値として記憶する」）。

1つのトラックに遷移のバースト（または他の実施例では一連の遷移）を書き込み、偏差を求めて記憶した後、ヘッドWを最初のトラックから半径方向に所定の値だけ移動する（ステップ104「ヘッドを所定の値だけ移動する」）。一実施例では、この所定の値はトラックの約半分に等しい。ヘッドをトラックの約半分だけ移動した後、既存の奇数番号の遷移をトリガ点として使用してヘッドWで新しい1組の偶数番号の遷移を書き込む（ステップ106「奇数番号の遷移を使用して次のトラックに情報を書き込む」）。所与の偶数番号の遷移を書き込む時点は、プログラマブル遅延発生機構30（第1図）によって制御される。プログラマブル遅延発生機構30は、名目間隔にその遷移の対の記憶測定偏差の半分などの不足を足した値に設定されている。偶数番号の遷移を書き込んだ後、偶数番号の遷移をトリガ点として使用して新しい1組の奇数番号の遷移を生成する（ステップ108

「偶数番号の遷移を使用して次のトラックに情報を書き込む」）。偶数番号の遷移の書き込みと同様に、プログラマブル遅延発生機構によって制御された時点で所与の奇数番号の遷移を書き込む。この場合、所与の遷移の対の遅延発生機構はその対の名目間隔に等しい値に設定されている。前記に加えて、遷移180から遷移1を生成し、第2のトラックに書き込む。この場合、プログラマブル遅延発生機構は、前述のようにして算出した特別名目値に、その遷移の対のために記憶装置に記憶されている測定偏差の半分を足した値に設定する。この偏差は第2のトラックの場合はゼロであるが、それ以降のトラックの場合はゼロではない。

偶数番号の遷移と奇数番号の遷移を書き込んだ後、奇数-偶数の遷移の各対の時間間隔を測定し、名目時間間隔（または特別名目間隔）からの各偏差をコンピュータ28にある記憶装置に記憶する（ステップ110「間隔を測定し、偏差を記憶する」）。

その後で、ディスク上にタイミング情報を受け入れるトラックがまだほかにあるかどうかを判断する（問い合わせ112「それ以上トラックがあるか？」）。ディスク上にタイミング情報を受け入れるトラックがそれ以上ない場合、ディスク面にタイミング・パターンを配置するプロセスは完了する（ステップ114「終了」）。しかし、ディスクの追加のトラックにタイミング・パターンを書き込む場合、流れはステップ104「ヘッドを所定の値だけ移動する」に戻り、このプロセスを繰り返す。

上述のプロセスを使用して、等間隔の半径方向のタイミング・マークを設け、それらをサーボ・パターンの生

成のためのトリガ点として使用することができる。一実施例では、サーボ・パターン情報は、半径方向のタイミング・マーク間の領域に書き込む。サーボ・パターンを書き込んだ後、半径方向のタイミング・マークを消去することができる。さらに、すべての半径方向のタイミング・マークを使用しなくてもサーボ・パターンを書き込むことができる。

本発明の原理によると、タイミング・ジッタを最小限にするため、サーボ・パターンは半径方向のタイミング・マークの後、可能な限りただちに開始することが望ましい。この可能最小時間は、ヘッドを読み取りから書き込みに切り換えるのに要する時間によって求められ、典型的には1マイクロ秒未満である。記録遷移間のタイミング・ジッタは、回転速度の変化、記録ヘッドの変化、電子部品雑音、および媒体雑音から生じることがある。

（良好な媒体の媒体雑音は典型的には1ナノ秒rms未満であり、サーボ書き込みに関しては無視することができる。）ジッタの詳細な作用は、ディスクの特定の機械設計とディスク速度制御機構の品質とによって異なる。典型的なローエンドのディスク・ドライブの場合に予測されるジッタの大きさとスペクトルを示す標識として、ハードカード・ディスク・ドライブのパフォーマンスを測定した。HP5372Aタイム・アナライザを使用して10KHzの記録パターンについて4096の時間間隔の連続したシーケンスをキャプチャした。速度対時間の関係の記録を得るために、各時間間隔の逆を求めた。その後、そのデータを個々の回転別にまとめ、平均をとって変動の繰り返し部分を求めた。この変動の繰り返し部分をデータから引き、フーリエ変換をとることによって非繰り返し速度変動を求めた。このハードカードの非繰り返し速度ジッタ・スペクトル密度を第11図に示す。このグラフに示すように、変動の大部分はかなり低い周波数で発生し、恐らくモータ速度の変動によるものである。より高い周波数（1900Hzおよび2800Hz）でいくつかの急峻なピークが見られ、これらはサスペンション機構の共振またはボール・ベアリングの瑕疵である。

速度変動の大部分が約30Hz以下の周波数で発生するため、時間間隔ジッタは、約30ミリ秒より短い時間では時間間隔に従って線形に変化する。この線形な関係を第12図に示す。この図は、長いシーケンスの記録における間隔のいくつかのグループの合計を出し、より長い間隔のrms変動を計算することによって求めた、ナノ秒単位のrmsジッタ対ミリ秒単位の時間間隔の関係のプロットを図示したものである。一例として、92.56マイクロ秒の間隔では、ジッタは4.9ナノ秒rmsであることがわかる。この値は、この特定のディスク・ドライブの場合はゼロ間隔における極限ジッタを約3ナノ秒に制限する電子雑音による線形射影よりもやや高い。上記の実験から得られたデータは、完全な半径方向のタイミング・マーク・パターンをトリガすることによってサーボ・フィールド・

グレイ・コードや位相バーストなどのサーボ・パターン情報を数ナノ秒内に揃えることができることを照明している。

自己伝播パターン方式では、この同じ最小誤差はこのプロセスのどのサイクルにも適用される。一般に、このようなプロセスは、正味誤差がサイクル数の平方根として増大する「ランダム・ウォーク」を構成する。2000サイクルを要し、1サイクル当たり4.9ナノ秒の誤差があるプロセスでは、パターン誤差は219ナノ秒になる。グレイ・コードまたは位相バーストにおける典型的な磁気パターン期間は約200ナノ秒であるため、この誤差は全く受け入れられない。本発明の原理によるタイミング・パターンの書き込みに上述の手続きを使用すると、各半径方向のタイミング・マークに沿ったパターン誤差は、サイクル数に関係なく1サイクル当たりの最小誤差の約2倍である。(半径方向のタイミング・マークの絶対位置における誤差はサイクル数には依存せず、4乗根としてのみ増大する。これらの誤差はグレイ・コードや位相バーストの配置には影響を与えない。)したがって、1サイクル当たり4.9ナノ秒の誤差によって、約10ナノ秒のパターン誤差が生じ、これは磁気パターン期間の5%に過ぎず、取るに足らない量である。上記に加えて、タイミングが別個のクロック・ヘッドまたは回転エンコーダによって与えられるサーボ書き込みの既存の方法に優る、パターン精度向上の可能性が提供される。そのような既存のシステムでは、クロック源と書き込みヘッドとの間の相対的な物理的移動の結果、タイミング誤差が生じる。この移動は、ヘッドを保持する構造体の震動またはスピンドルにおける非反復的な振れから生じることがある。3600RPMで回転するディスク上の1インチの半径にあるヘッドの場合、3.7マイクロインチの相対移動により10ナノ秒のタイミング誤差が生じる。

前述のように、本発明の原理によりタイミング・パターンを書き込む際には、所定の値のタイミング遅延を使用する。一実施例では、この所定の値は名目値に測定偏差のはした( $F$ と呼ぶ)を加えた値である。好ましい一実施例では、このはしたは、以下の3つの場合の比較に基づき、2分の1である。

$F = 0$ 、 $F = 0.5$ 、および $F = 1$

第13図に、上記の3つの場合のトラックの周囲にある180本の半径方向の線の場所におけるrmsジッタ対ステップ番号の関係をグラフにして示す。第13図に示すように、たとえば1000ステップあり、各ステップが半トラックに対応する。グラフに図示されているデータは、8つの異なるモンテカルロ・ランの平均値である。(モンテカルロ技法は、ランダムな事象によって左右されるプロセスを評価するために使用されるコンピュータ・シミュレーションであり、当業者には周知である。)最初のトラック(たとえばトラック番号1)を、4.9ナノ秒の標準偏差を有するガウス分布から選択した誤差を使用して

生成し、92.56マイクロ秒間隔での測定ハードカード・ジッタに対応させる。新しい偶数番号の遷移の生成には、測定プロセスによる追加の影響を計算に入れるためにナノ秒オーダの標準偏差を持つ誤差の追加が必要である。偶数番号の遷移から奇数番号の遷移を生成するには、4.9ナノ秒の誤差を使用する。このログ・ログ・グラフから、 $F = 0$ または1と $F = 0.5$ とについて、明確に異なる力の法則が誤差の伝播を制御していることがわかる。

$F = 0$ の場合、ステップ・アウトごとに方位角上に2ライン移動することによって渦巻を形成する完全に独立したランダム・ウォークから成る明確な伝播経路がある(第14a図参照)。このようなプロセスの場合、rms誤差はステップ数の平方根として増大する。 $F = 1$ の場合、誤差は独立した半径方向の経路に沿って伝播し、この場合もステップ数の平方根として増大する(第14b図参照)。しかし、 $F = 0.5$ の場合は、誤差は渦巻状の経路と半径方向の経路との間で連続的に混じり合い(第14c図参照)、その結果、ステップ数の4乗根として増大する性質的に異なるタイプのランダム・ウォークとなる。第14a図ないし第14c図では、最大半径は200ステップに相当し、角偏差が200倍に増大して可視になっている。

半径方向のタイミング・マークに沿ったタイミング誤差は、隣接するグレイ・コード遷移または位相バーストに直接影響を与え、大きい場合には半径方向のタイミング・マーク自体のリードバック振幅を劣化させる。性質的には、このタイプの誤差は第14a図ないし第14c図に示すように個々のラインのぎざぎざとして現れる。 $F = 0$ の場合、(たとえば $F = 1$ および $F = 0.5$ などの)誤差測定および修正を利用するどちらの手法の場合よりもこのタイプの誤差ははるかに大きくなることがわかる。これを第15図に量的に示す。この図では、半径方向のタイミング・マークに沿った隣接するステップ間の位置決めのrms誤差をステップ番号との関係でグラフにしてある。前記のように、これらは8つの異なるランの平均値である。 $F = 0$ の場合、渦巻状の伝播経路の結果、トラックの周囲の絶対位置誤差よりもさらに大きいステップ間誤差が生じる。 $F = 1$ と $F = 0.5$ の場合は両方とも、(ステップ数には関係なく)ステップ間誤差は一定しており、4.9ナノ秒の入本間隔雑音の2倍にほぼ等しい。

全体的なタイミング・パターン誤差は使用する基本間隔におけるジッタと正比例することに留意されたい。これは、モータ速度制御機構を改善し、より良好なリードバック信号調整を使用することによって大幅に減らすことができる。半径方向のタイミング・マーク・パターンに分離された遷移ではなく、遷移のバーストを使用することによって、ジッタの電子成分をさらに減らすこともできる。半径方向のタイミング・マーク間の基本間隔をさらに短くすれば、電子部品の影響がさらに低減することになる。

本発明の原理により、半径方向のタイミング・マーク・パターンの生成に要する合計時間は、1000トラック（2000ステップ）から成るパターンの場合で約2分と見積もられる。これは、各伝播ステップを行うのに4回転かかるという前提に基づいている。半トラックのヘッド移動と、偶数番号の遷移の書込みと、奇数番号の遷移の書込みと、奇数から偶数への間隔の測定のためにそれぞれ1回転ずつである。

当業者には、本発明の精神から逸脱することなく上述の手続きのいくつかの変形が可能であることがわかるであろう。一例として、2分の1以外の誤差修正（すなわち測定偏差のはした）を使用することもできる。他の可能性として、偶数番号の遷移から奇数番号の遷移の生成における部分誤差修正を使用することもできる。実験中に、これはトラックの周囲の絶対位置誤差には全く影響を与えないことがわかったが、ラインに沿ったステップ間位置決め誤差はわずかに少なくなる。

以上、ディスク・ドライブの内部記録ヘッドを使用してディスク面上にクロック・トラック情報を書き込む技法について説明した。第2図に戻って参照すると、タイミング・パターンを生成した後、サーボ・パターンを書き込む（ステップ120「1つの面にサーボ・パターンを書き込む」）。

第16図を参照すると、最も広いトラックを書き込むヘッドと、そのヘッドの半径方向の位置決めを行うオントラック振幅のはした（すなわちQ1またはQ1new）とを使用してサーボ・パターンを書き込む一技法が詳述されている。具体的には、最も広いトラックを書き込むヘッド（ヘッドW）を、ヘッドWに付随するディスク面（すなわち面W）の最も内側のトラックでクラッシュ・ストップに戻す（ステップ122「ヘッドをデリミタまで移動する」）。

この位置で、振幅バーストAを書き込む（ステップ124「バーストAを書き込む」）。3タイミング・マークごとに（タイミング・マーク1、4、7など）トリガされて、30マイクロ秒の名目遅延と10マイクロ秒の幅で振幅バーストAが書き込まれる。すなわち、振幅バーストAはタイミング・マークの30マイクロ秒後に10マイクロ秒間書き込まれる。当業者なら、バーストはタイミング・マークごとに書き込むこともその他の任意の所望の間隔で書き込むこともでき、3タイミング・マークごとというのは一例に過ぎないことがわかるであろう。

3タイミング・マークごとにAパートを書き込んだ後、前述のようにヘッドWをQ1またはQ1newで表された半径位置にある最初のAバーストでヘッドWをサーボする（ステップ126「ヘッドをサーボする」）。ヘッドWをこの半径位置に位置決めした状態で、3つ目ごとのタイミング・マーク（2、5、8など）によって表される円周方向の位置に振幅バーストBを書き込む（ステップ128「バーストBを書き込む」）。3つ目ごとのタイミ

ング・マークの後に1マイクロ秒の名目遅延の10マイクロ秒の幅で各Bバーストを書き込む。

振幅AバーストとBバーストを書き込んだ後、3タイミング・マークごとに（1、4、7など）トリガされるセクタ・ヘッドを書き込む（ステップ130「セクタ・ヘッドを書き込む」）。セクタ・ヘッドは、サーボ識別フィールドとグレイ・コード情報を含み、1マイクロ秒の名目遅延と29マイクロ秒未満の合計存続時間で書き込まれる。

セクタ・ヘッドを書き込んだ後、上記で求めたQ1またはQ1newの信号レベル比までヘッドWを振幅バーストBでサーボする（ステップ132「ヘッドをサーボする」）。ヘッドWをこの半径位置に置いたまま、3つ目のタイミング・マーク（1、4、7など）ごとにトリガされる振幅バーストCを40マイクロ秒の名目遅延と10マイクロ秒の幅で書き込む（ステップ134「バーストCを書き込む」）。

その後、ヘッドWをCバーストでQ1またはQ1newの信号レベル比までサーボし（ステップ136「ヘッドをサーボする」）、3つ目のタイミング・マーク（2、5、8など）ごとにトリガされる振幅バーストDを10マイクロ秒の名目遅延と10マイクロ秒の幅で書き込む（ステップ138「バーストDを書き込む」）。

バーストCおよびDを書き込んだ後、セクタ・ヘッドを書き込む（ステップ140「セクタ・ヘッドを書き込む」）。ステップ130でセクタ・ヘッドを書き込んだのと同様に、サーボ識別フィールドとグレイ・コード情報を含むセクタ・ヘッドを3つ目のタイミング・マーク（1、4、7など）の後に書き込み、1マイクロ秒の名目遅延と29マイクロ秒未満の合計存続期間とで書き込む。

セクタ・ヘッドを書き込んだ後、振幅バーストDでヘッドWをQ1またはQ1newの信号レベル比までサーボする（ステップ142「ヘッドをサーボする」）。この位置で、バーストを30マイクロ秒の名目遅延と10マイクロ秒の幅で書き込む（ステップ144「バーストAを書き込む」）。前と同様に、バーストAの書き込みは3つ目のタイミング・マーク（1、4、7など）ごとにトリガされる。

バーストAを書き込んだ後、このディスク面全体のうちの他の部分にさらにサーボ・パターンを生成したい場合（問い合わせ146「書き込む情報がそれ以上あるか？」）、流れはステップ126に戻り、このプロセスを繰り返す。それ以外の場合は、本発明の原理により1つのディスク面にサーボ・パターンを書き込むプロセスは完了する（ステップ148「終了」）。

この時点で、他の任意の使用可能なディスク面にサーボ・パターンを生成することができる（ステップ160「他の面にサーボ・パターンを生成する」）（第2図）、これは、以下に述べるように、前に書き込んだサ

ーボ・パターンからの情報を使用して行う。

第17図を参照すると、他のディスク面にサーボ・パターンを生成する一技法が説明されている。最初に、最も広いトラックを書き込むヘッドを面WのBバーストでQ1またはQ1newの信号レベルまでサーボする（ステップ162「Bバーストで1つのヘッドをサーボする」）。次にヘッドWは面W上の3つ目ごとのタイミング・マーク（すなわちタイミング・マーク1、4、7など）を読み取り（ステップ164「タイミング・マークを読み取る」）、第2の面上で第2のヘッドの書き込み操作をトリガする。これはディスク・ドライブ内のどのヘッドでもよく、それに対応するどの面でもよい。第2のヘッドは20マイクロ秒の名目遅延でCバーストを書き込む（ステップ166「第2のヘッドでCバーストを書き込む」）。

その後、ヘッドWは面WのDバーストでQ1またはQ1newの信号比にサーボする（ステップ168「1つのヘッドをDバーストでサーボする」）。ヘッドWをこの半径方向の位置に位置決めした状態で、ヘッドWは面W上の3つ目ごとのタイミング・マーク（たとえば1、4、7など）を読み取り（ステップ170「タイミング・マークを読み取る」）、第2のヘッドをトリガして書き込み操作を行わせる。第2のヘッドは第2の面に30マイクロ秒の名目遅延で振幅バーストAを書き込む（ステップ172「第2のヘッドでAバーストを書き込む」）。

AバーストとCバーストを書き込んだ後、面W上のサーボ・パターンがそれ以上ある場合（問い合わせ174「それ以上情報があるか？」）、流れはステップ162に戻り、このプロセスを繰り返す。以上は、サーボ・パターンがBバーストとDバーストではなくAバーストとCバーストで構成されていることを仮定しており、これらは一時的なものに過ぎず、サーボ点として使用される。BバーストとDバーストは、データ・トラックが配置されることになる場所を表し、したがってBバーストとDバーストは上書きされる。

さらに他の面にサーボ・パターンを生成する場合は、第2の面にセクタ・ヘッド情報を配置する。第2の面上にあるCバーストで第2のヘッドをQ1またはQ1newの信号レベル比までサーボする（ステップ176「第2のヘッドをCバーストでサーボする」）。この位置でサーボしている間に、面W上の3つ目ごとのタイミング・マーク（たとえば1、4、7など）でヘッドWをトリガし、第2のヘッドで1マイクロ秒の名目遅延と29マイクロ秒未満の合計存続時間でセクタ・ヘッドを書き込む（ステップ178「セクタ・ヘッドを書き込む」）。

その後、第2のヘッドを第2の面上にあるAバーストでQ1またはQ1newの信号レベル比にサーボする（ステップ180「第2のヘッドをAバーストでサーボする」）。面W上で3つ目ごとのタイミング・マーク（たとえば1、4、7など）でヘッドWをもう一度トリガし、第2のヘッドを書き込む（ステップ182「セクタ・ヘッドを

書き込む」）。前と同様に、セクタ・ヘッドはサーボ識別フィールドとグレイ・コード情報を含み、1マイクロ秒の名目遅延と29マイクロ秒未満の合計遅延で書き込まれる。

書き込むセクタ情報がそれ以上ある場合（問い合わせ184「それ以上セクタ情報があるか？」）、流れはステップ176に移り、このプロセスを繰り返す。それ以外の場合は、すべてのセクタ情報が書き込まれ、もう1つのディスク面上にサーボ・パターンを生成するプロセスは完了する（ステップ186「終了」）。以上のプロセスを使用して所望の数のディスク面にサーボ・パターンを生成することができることは明らかであろう。第2図に戻って参照すると、サーボ・パターンが他の面に伝播した後、このプロセスは完了する（ステップ190「終了」）。

以上のプロセスの結果、ディスク面の60個のセクタに振幅バースト・パターンが書き込まれる。位相符号化パターンが必要であるとすれば、振幅バーストが半径方向の情報に使用されることになり、ヘッドはタイミング・マークから入手可能なタイミング情報を使用して位相符号化パターンを書き込む。当業者なら本発明の技法を使用して3つ以上のバーストを使用してサーボ・パターンを書き込むことができ、2つのバーストは一例に過ぎないことがわかるであろう。

以上、ディスク面上にサーボ・パターンを書き込む一実施例について説明した。以下では、第2図と第18図を参照しながら、サーボ・パターンを書き込む他の実施例について説明する。第2図を参照すると、この第2の実施例では、上記で詳述したようにして最も広いヘッドと、トラック・ピッチとを判断する。しかし、タイミング・パターンの生成は上記のプロセスとは異なり、これについて第18図を参照しながら詳述する。

本発明の原理によると、この実施例では、タイミング・パターンを書き込むために選択するヘッドは最も広いトラックを書き込まないヘッドのうちの1つである。ここではこの選択されたヘッドをヘッド1と呼ぶが、これはディスク・ドライブ内の最も広いトラックを書き込むヘッド以外のどのヘッドでもよいことに留意されたい。しかし他の実施例では、このヘッドは最も広いトラックを書き込むヘッドとすることもできる。第18図を参照すると、選択されたヘッド（ヘッド1）を使用して、ヘッド1に対応するディスク面の第1のトラックにタイミング・パターンを表す磁気遷移を書き込む。ここではこの面を面1と呼ぶ（ステップ200「1つのヘッドでクロック・トラックを書き込む」）。一実施例では、クロック・トラックはディスク面上に約2.5MHzで書き込まれ、ディスク面上のすべての半径方向の位置に書き込まれる。

ヘッド1で第1のクロック・トラックを書き込んだ後、アクチュエータ18を所定の距離だけ移動する（ステップ202「アクチュエータを所定の距離だけ移動す

る」)。一実施例では、リードバック信号の振幅がオントラック信号のほぼ半分になるまでアクチュエータを移動する。アクチュエータは修正されたヘッド信号をサンプリングすることによってこの2分の1振幅位置にサーボ位置決めされる。アクチュエータをこのように位置決めする間に、ヘッド1は前に第1の面に書き込まれたパターンを読み取り、第2のヘッド（ヘッド2と呼ぶ）は第1のヘッドによってパターン読み取りに位相ロックされた第2の面（面2）にパターンを書き込み、それによって異なるディスク面に新しいクロック・トラックができる（ステップ204「ヘッド1からパターンを読み取り、ヘッド2でパターンを書き込む」）。ヘッド1と同様に、ヘッド2は必ずしもディスク・ドライブの2番目のヘッドである必要はなく、ディスク・ドライブ内のどのヘッドでもよい。

第2のディスク面にタイミング情報を書き込んだ後、第2のヘッドを位置決めする（ステップ206「ヘッド2を位置決めする」）。具体的には、第2のヘッドは書き込みモードから読み取りモードに切り換えられて、前に書き込まれた遷移を読み取る。この信号は振幅信号に変換され、アクチュエータがQ1またはQ1newの振幅信号レベルに位置決めされる。この位置で、第2のヘッドは第2の面上のクロック情報を読み取り、ヘッド1によって第1の面上の第1のクロック・トラックに隣接して第2のクロック・トラックが書き込まれる（ステップ208「ヘッド2からパターンを読み取り、ヘッド1でパターンを書き込む」）。

その後、そのディスク面にさらにクロック情報を入れたい場合（問い合わせ210「それ以上の情報があるか？」）、流れはステップ202に戻る。一実施例では、ディスク面全体（すなわち半径方向のすべての位置）にタイミング情報を配置することが望ましい。全ディスク面にクロック・トラックが書き込まれるまでこのプロセスを繰り返すことによって、アクチュエータのどの半径方

向の位置でもヘッドの円周方向の位置がわかる。このプロセス中の半径方向の位置の精度は、リード・バック信号が位相ロックされ、コヒーレントに増加する限り、それほど重要ではない。

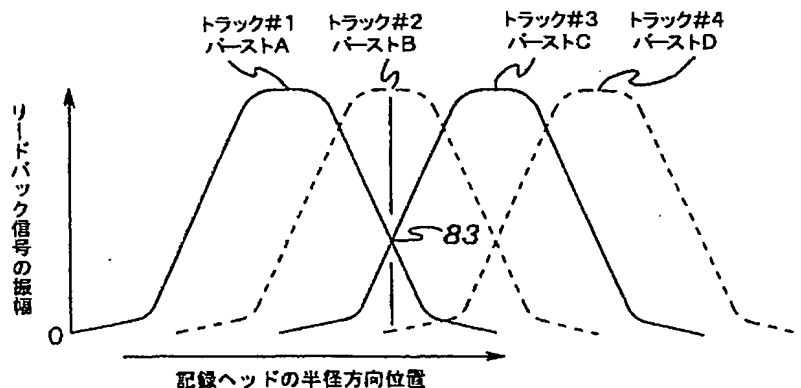
以上、2つの内部記録ヘッドを使用して専用クロック面に書き込む技法について説明した。上記の例では、2つの記録ヘッドが異なるディスク面に書き込むが、これは不可欠のことではない。2つのヘッドが同じ面に書き込むことも可能である。ディスク面を1ステップずつ横切ることによって専用クロック面ができるまで、一方のヘッドがパターンを読み取り、他方のヘッドがパターンを書き込む。

第2図に戻って参照すると、タイミング情報が生成された後、上記で詳述したように最も広いトラックを書き込むヘッドを使用してディスク面の1つにサーボ・パターンを書き込む。その後、サーボ・パターンをクロック情報が入ったディスク面を除くすべてのディスク面に伝播させる。

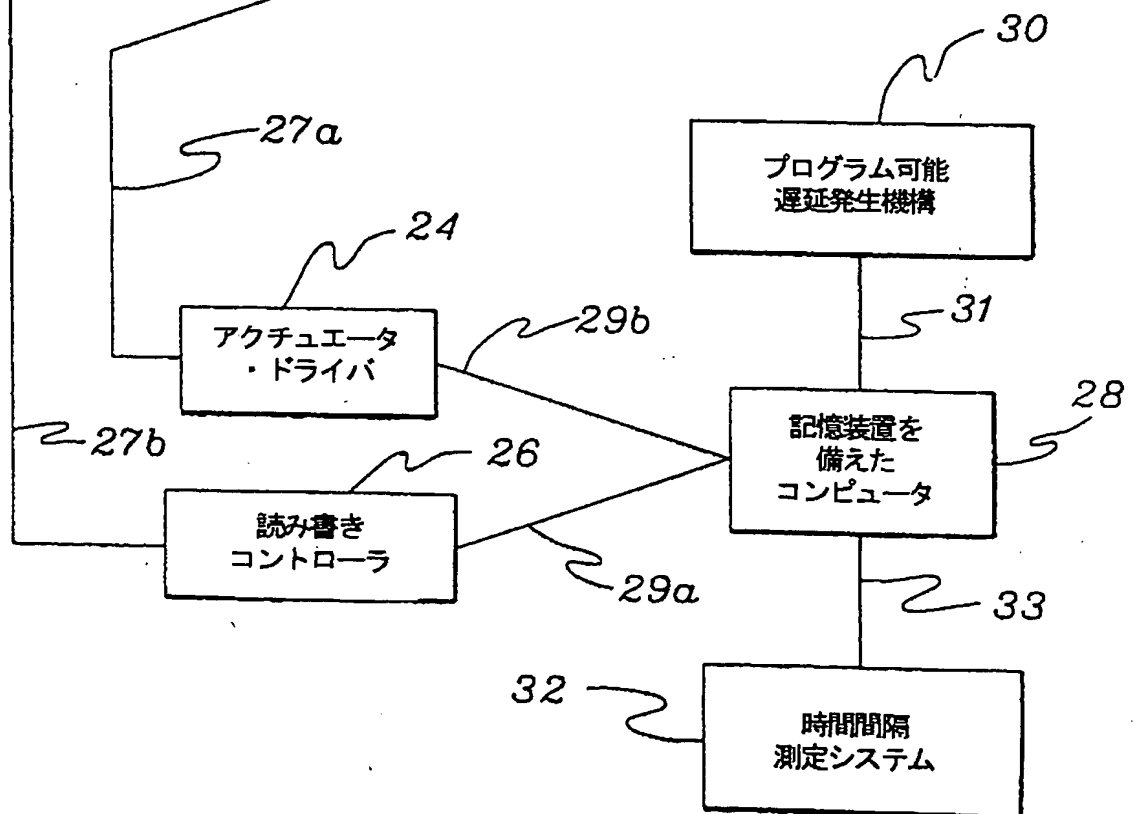
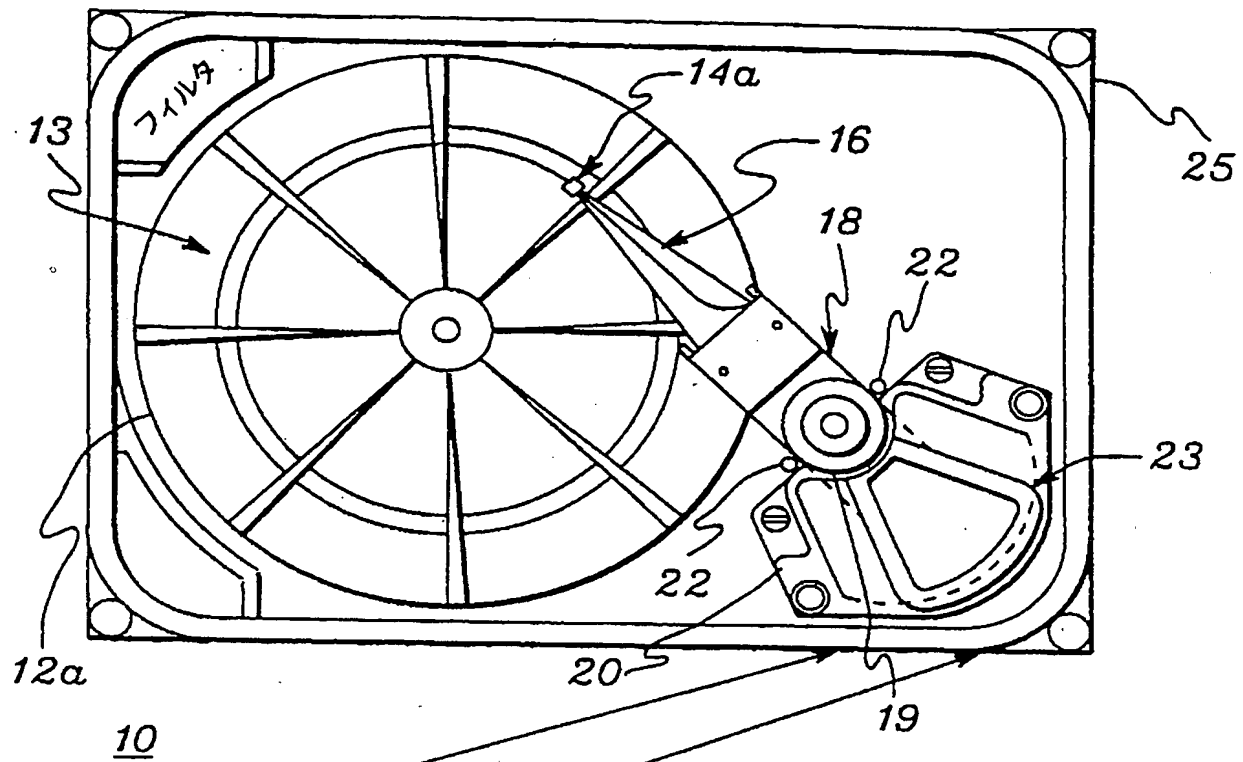
他の実施例では本発明により、クロック情報が入った面にサーボ・パターンを書き込むこともできる。これを実現するために、第2の面（すなわち元のクロック面以外の面）の半径方向のセクタ情報の間にクロック情報を書き込む。第2の面の半径方向のセクタを第1のクロック面に対して円周方向にシフトすると、すべてのセクタ位置でクロック情報を入手することができる。第2の面上のクロック情報を使用して元のクロック面にサーボ・パターンを書き込む。

以上、外部センサを使用せずにサーボ・パターンを書き込む技法について説明した。本明細書では好ましい実施例を図示し、詳述したが、当業者なら、本明細書の精神から逸脱することなく様々な修正、追加、代用、および同様のものを加えることができることがわかるであろう。したがって、それらは請求の範囲で規定されている本発明の範囲内に入るものとみなされる。

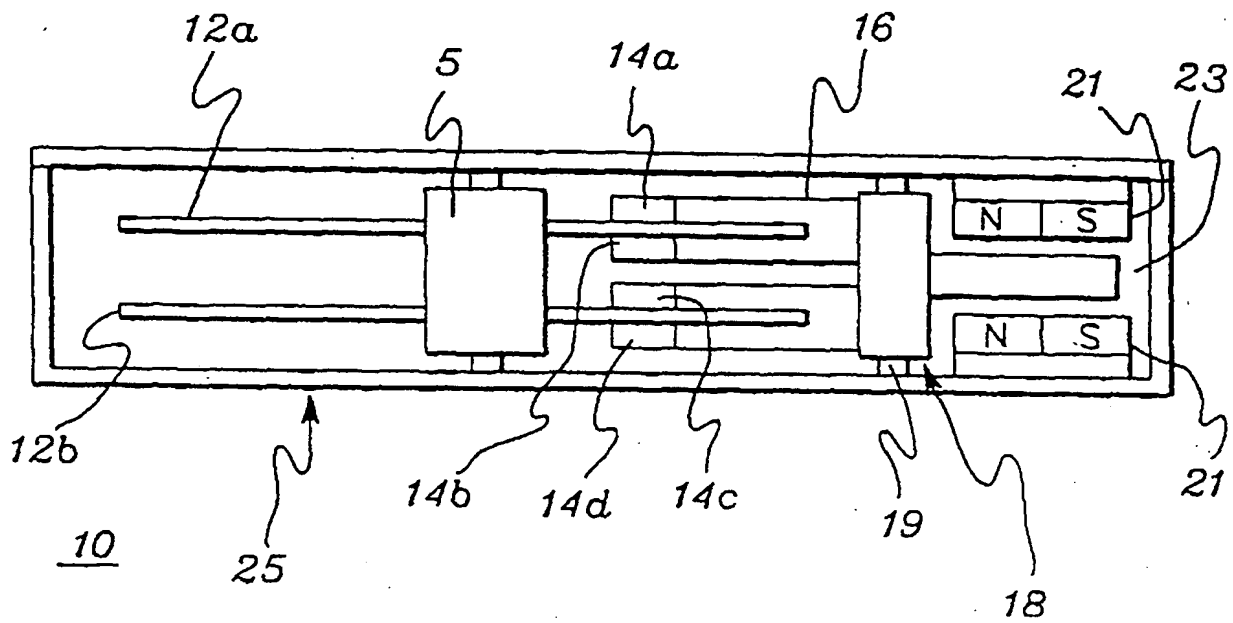
【第8図】



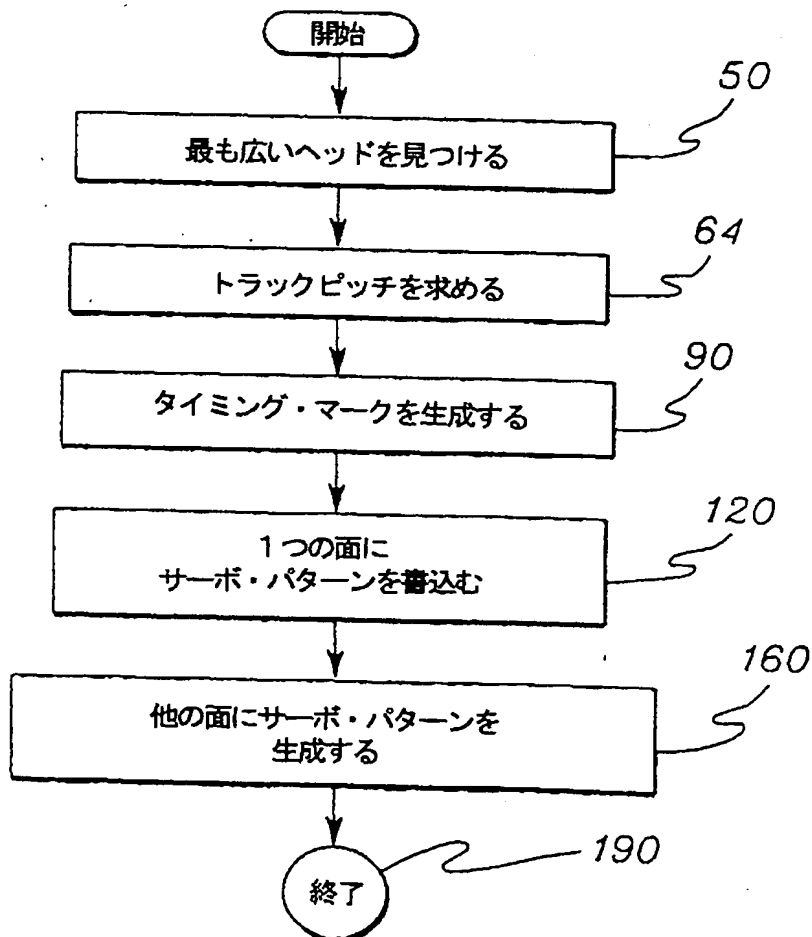
【第1a図】



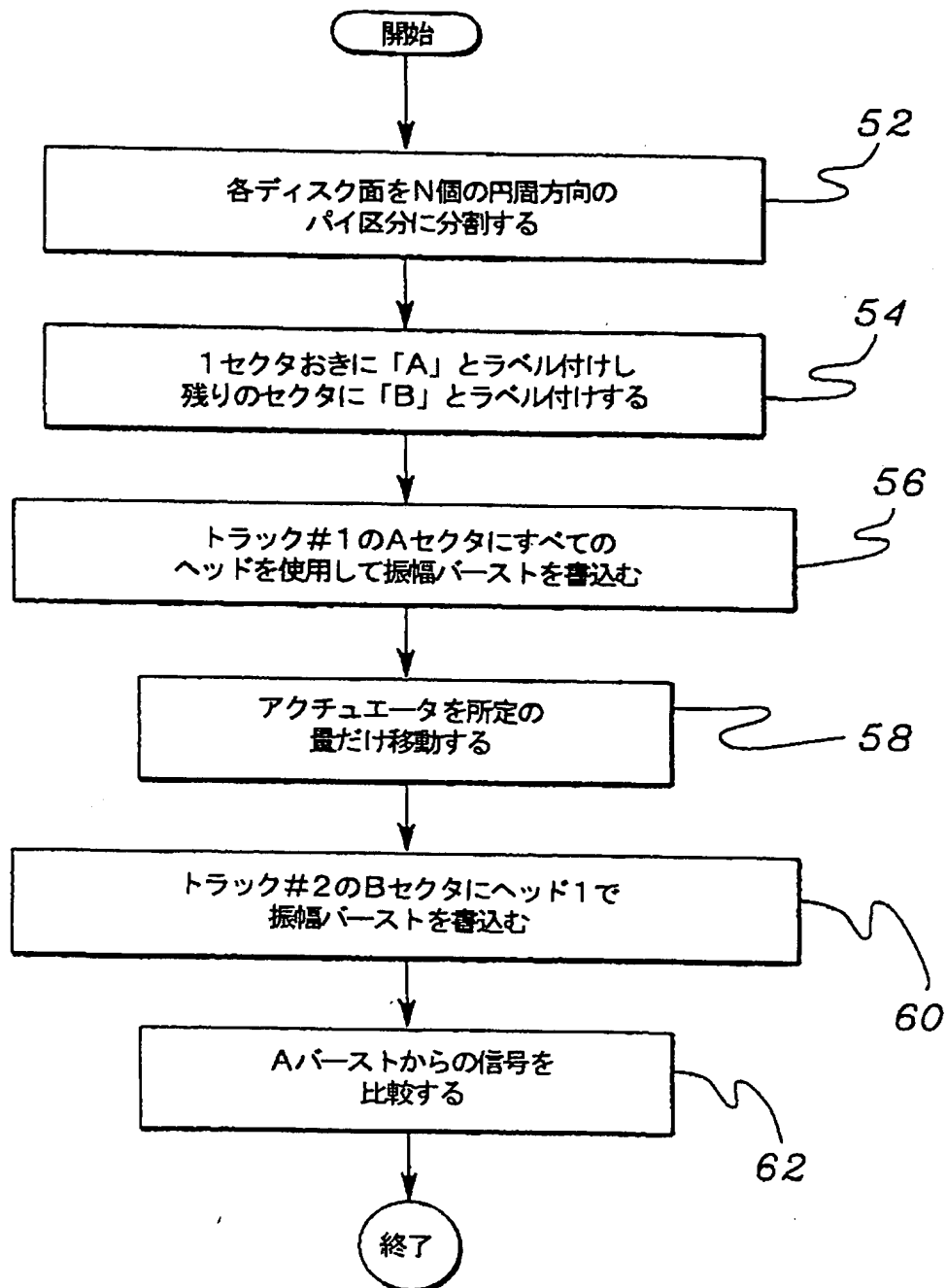
【第1b図】



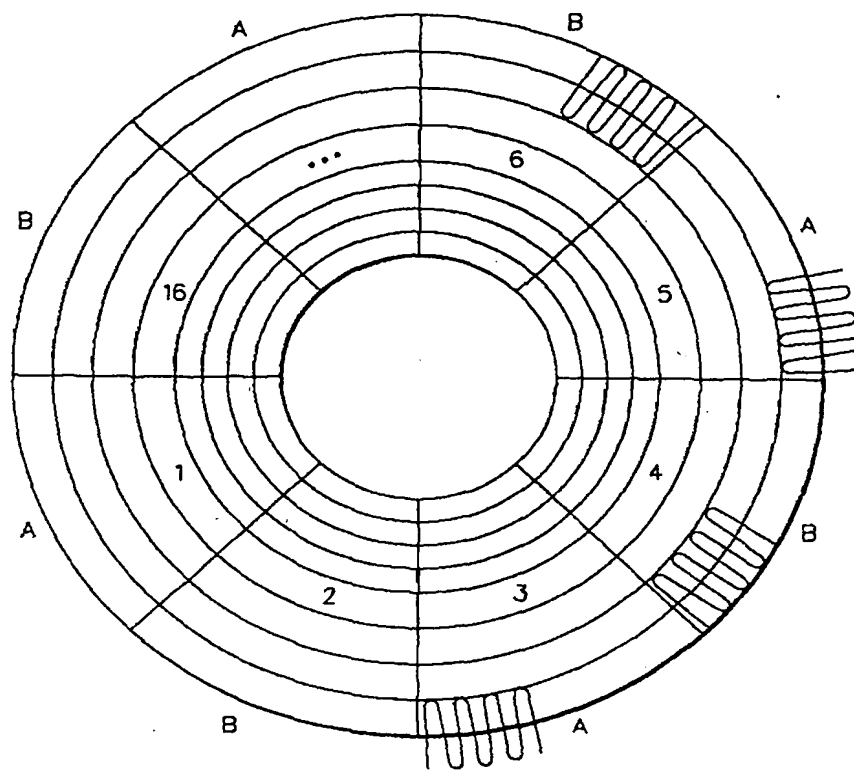
【第2図】



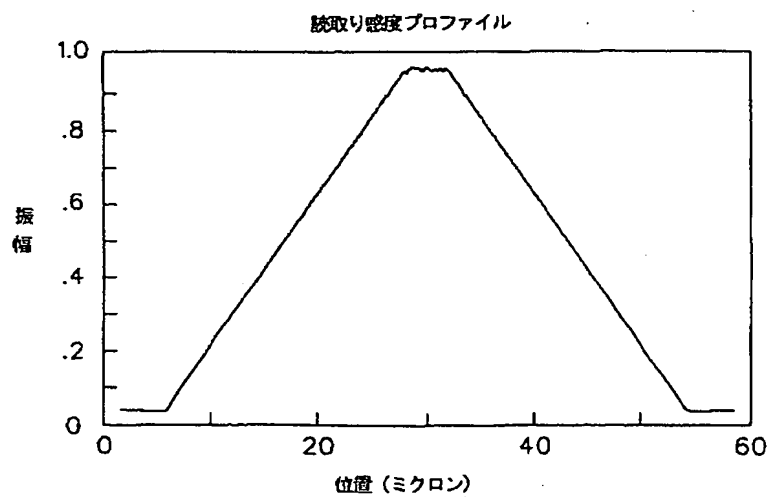
【第 3 図】



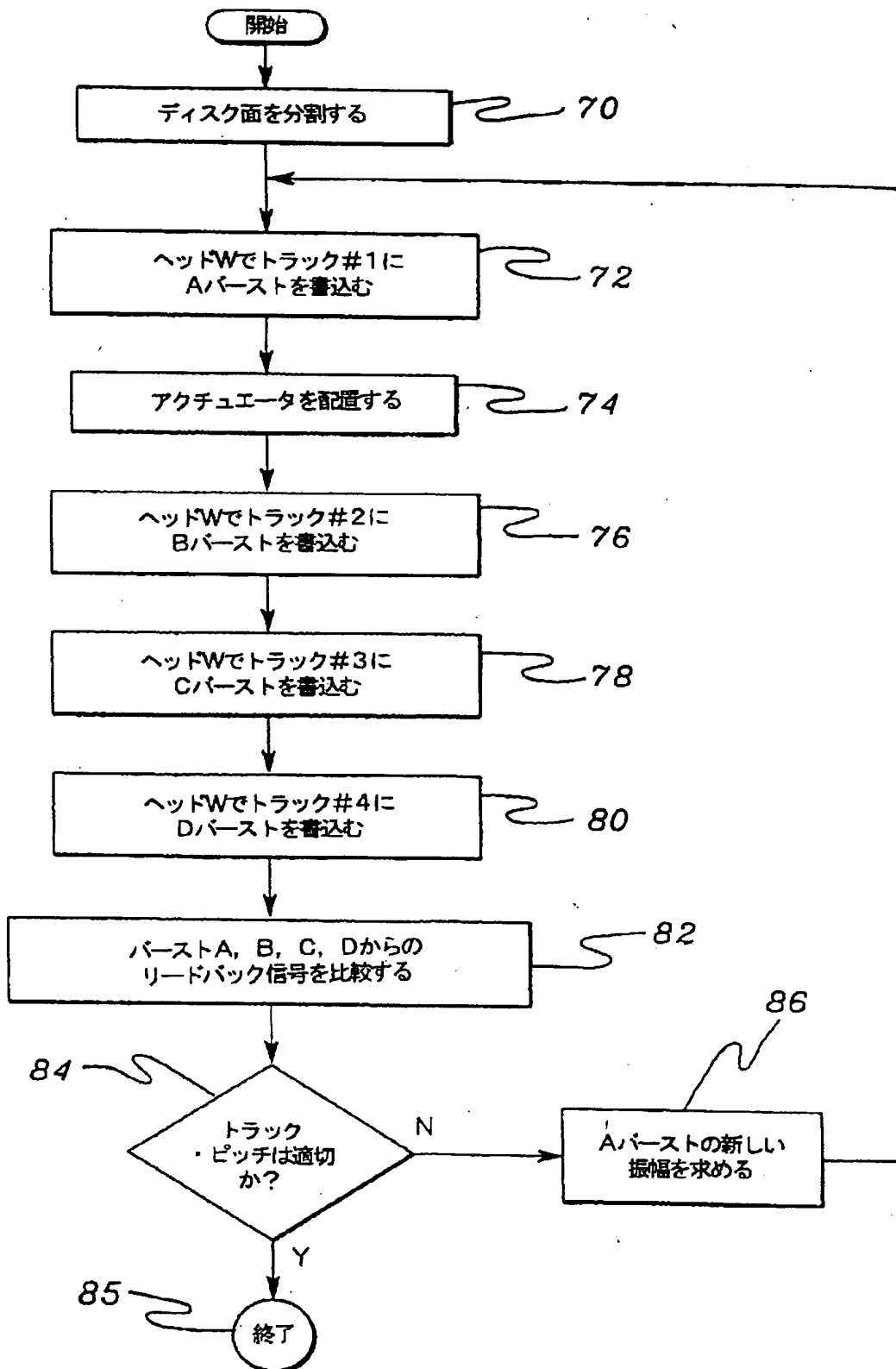
【第4図】



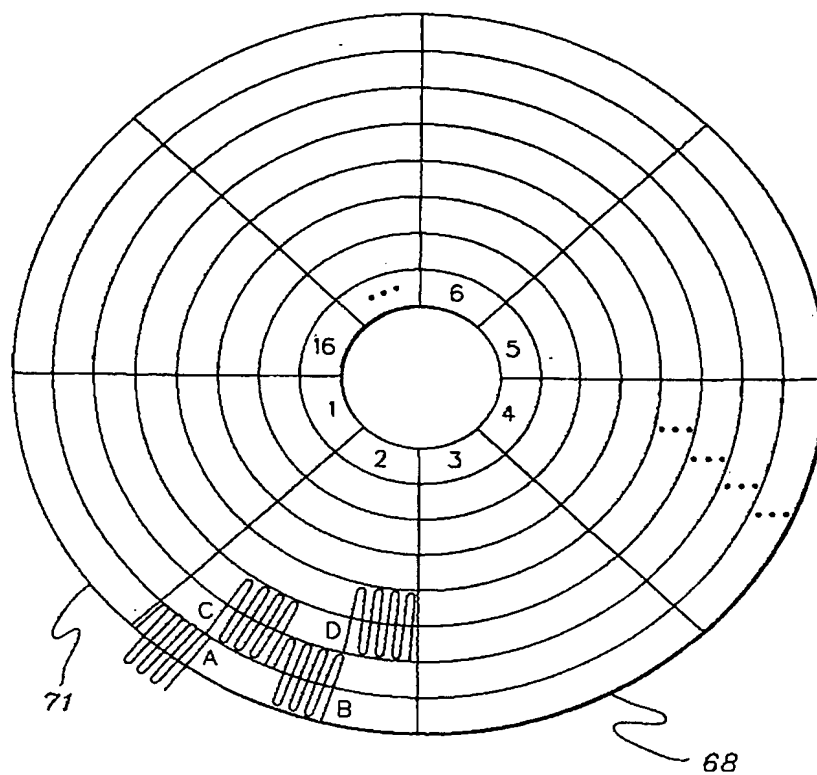
【第5図】



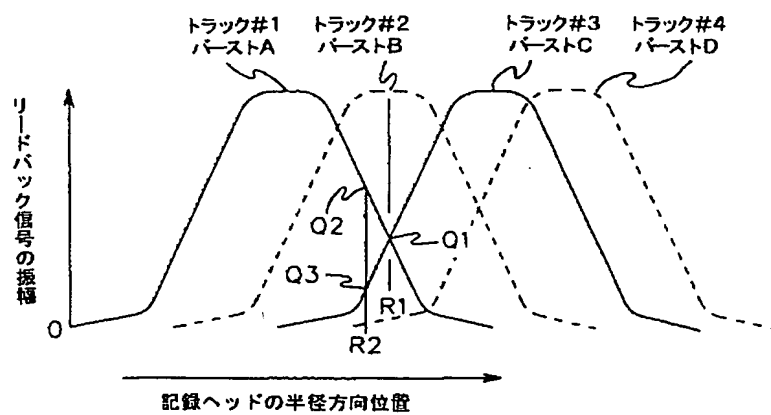
【第6図】



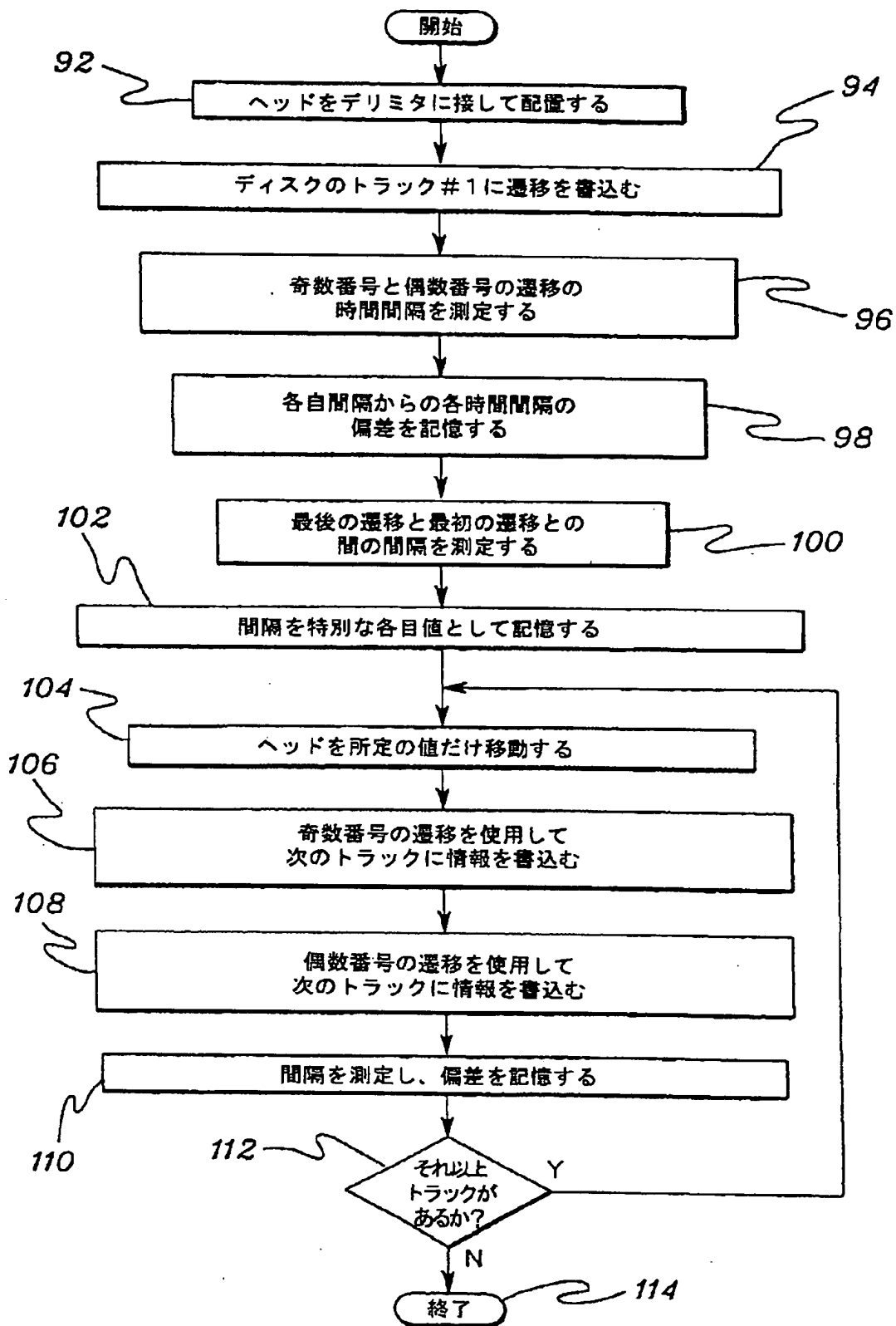
【第7図】



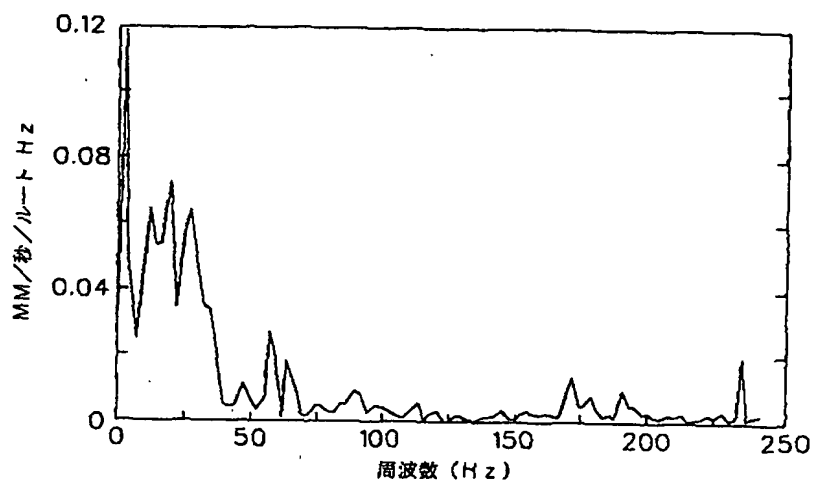
【第9図】



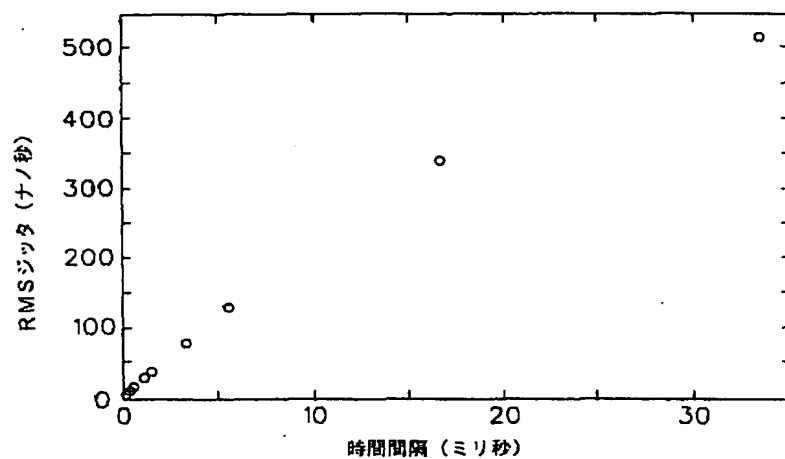
【第 1 0 図】



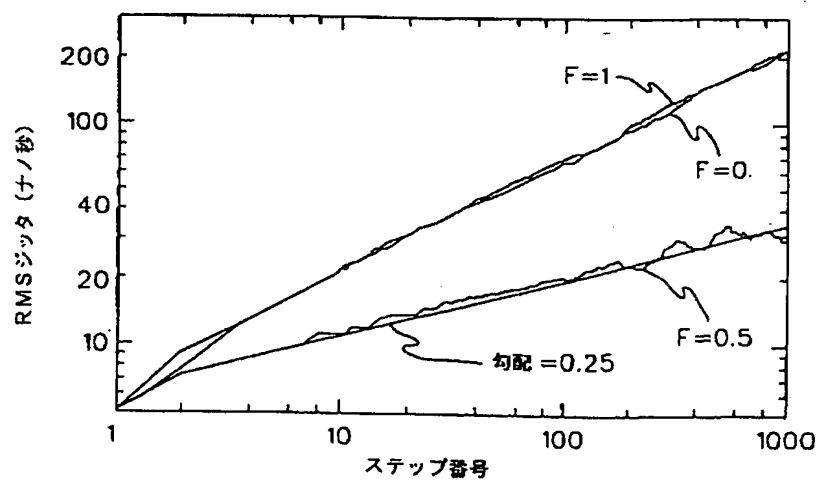
【第11図】



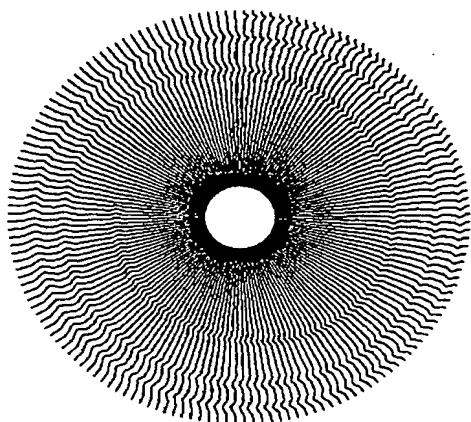
【第12図】



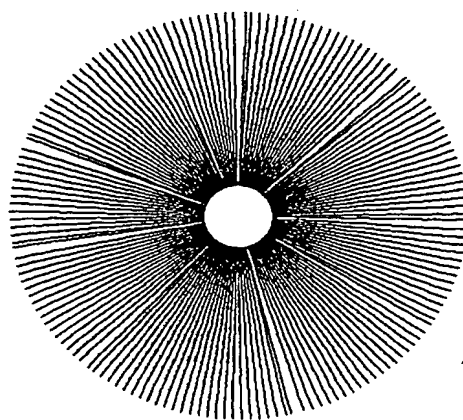
【第13図】



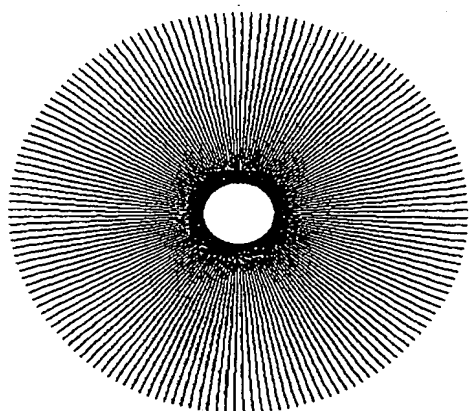
【第14a図】

 $F=0$      $F=1$ 

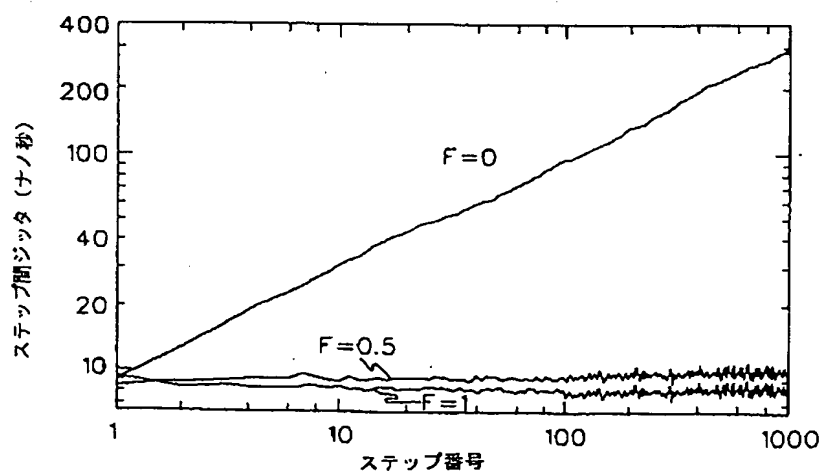
【第14b図】



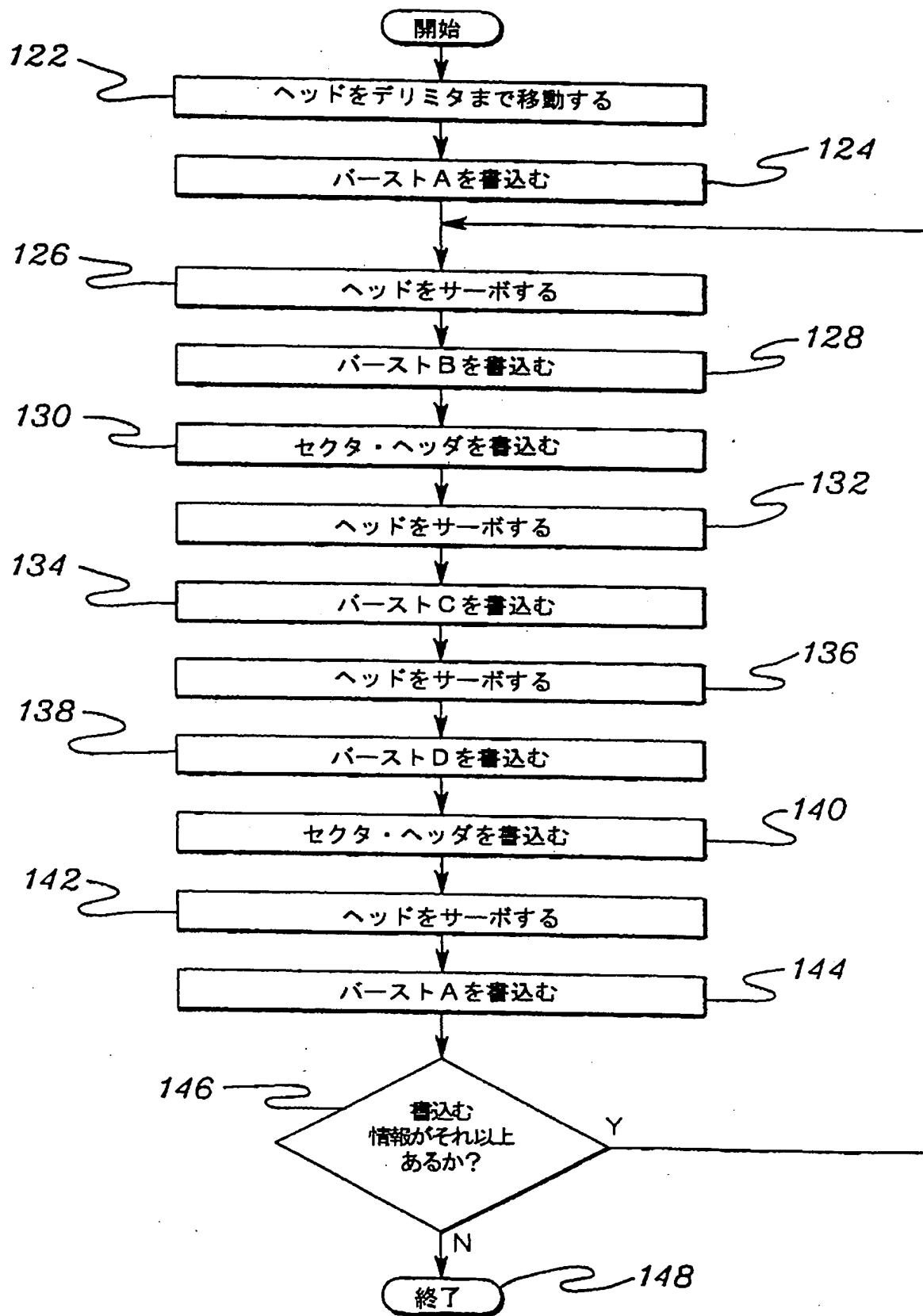
【第14c図】

 $F=0.5$ 

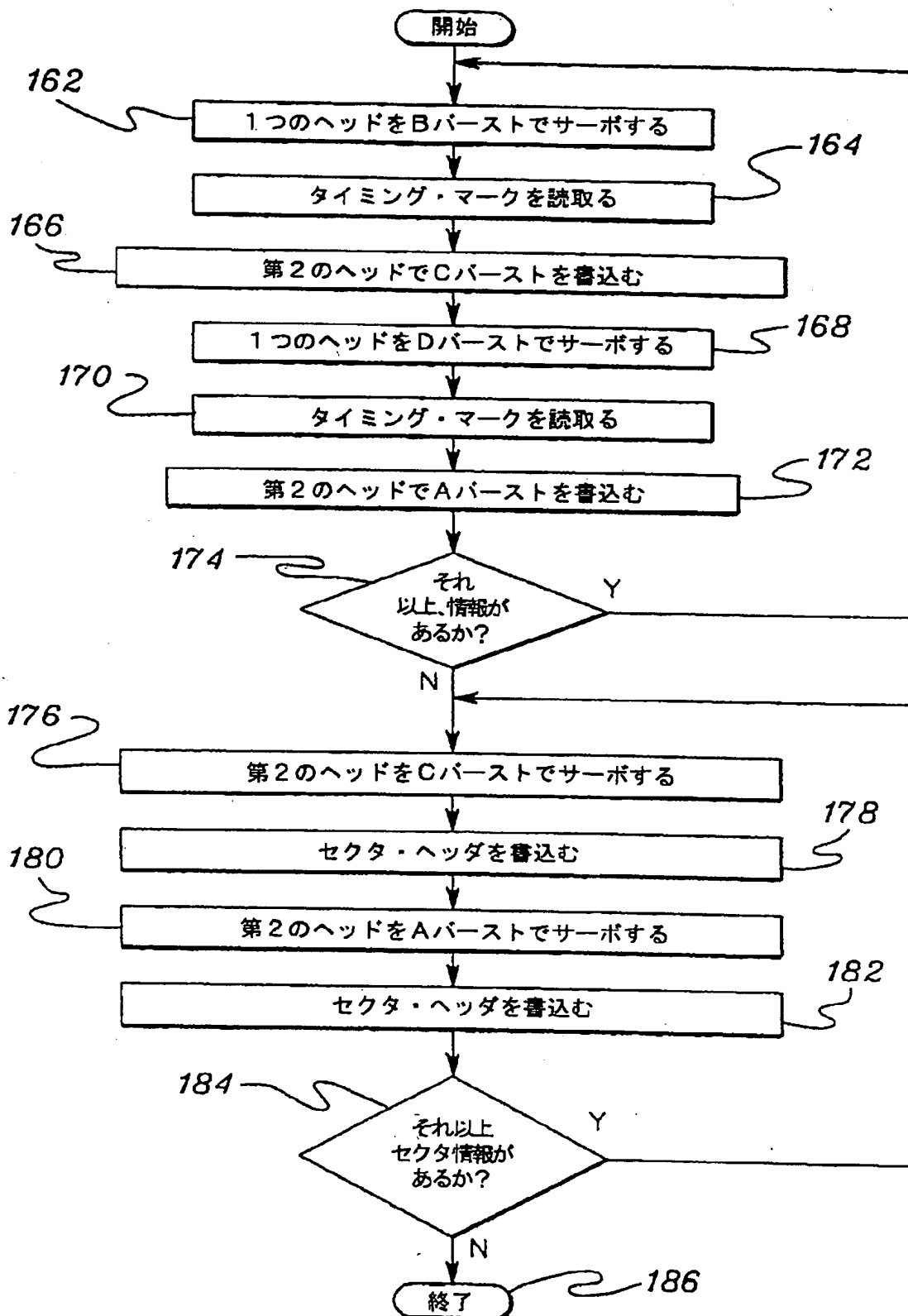
【第15図】



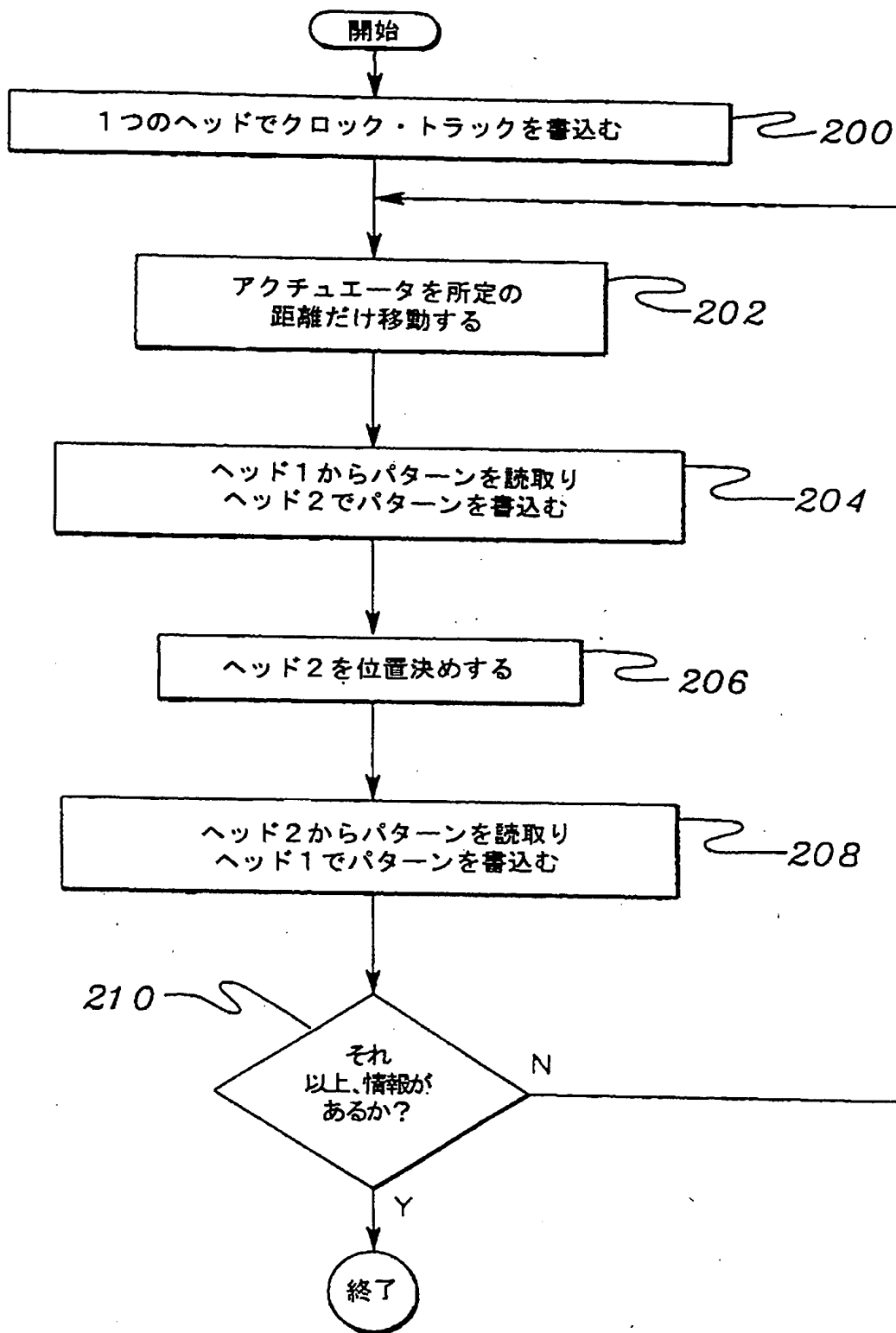
【第16図】



【第17図】



【第18図】



フロントページの続き

(72) 発明者 ヤルムチャク、エドワード、ジョン  
アメリカ合衆国ニューヨーク州ソマー  
ズ、フランクリン ドライブ (番地な  
し)

(56) 参考文献 特開 昭64-17275 (J P, A)  
特開 平6-12800 (J P, A)  
特開 昭63-63183 (J P, A)  
特開 昭63-263676 (J P, A)  
特開 昭61-294670 (J P, A)  
特開 昭64-35789 (J P, A)  
特開 平1-130370 (J P, A)  
特開 平5-274832 (J P, A)  
特開 平7-37344 (J P, A)

(58) 調査した分野 (Int. Cl. <sup>6</sup>, D B 名)

G11B 21/10